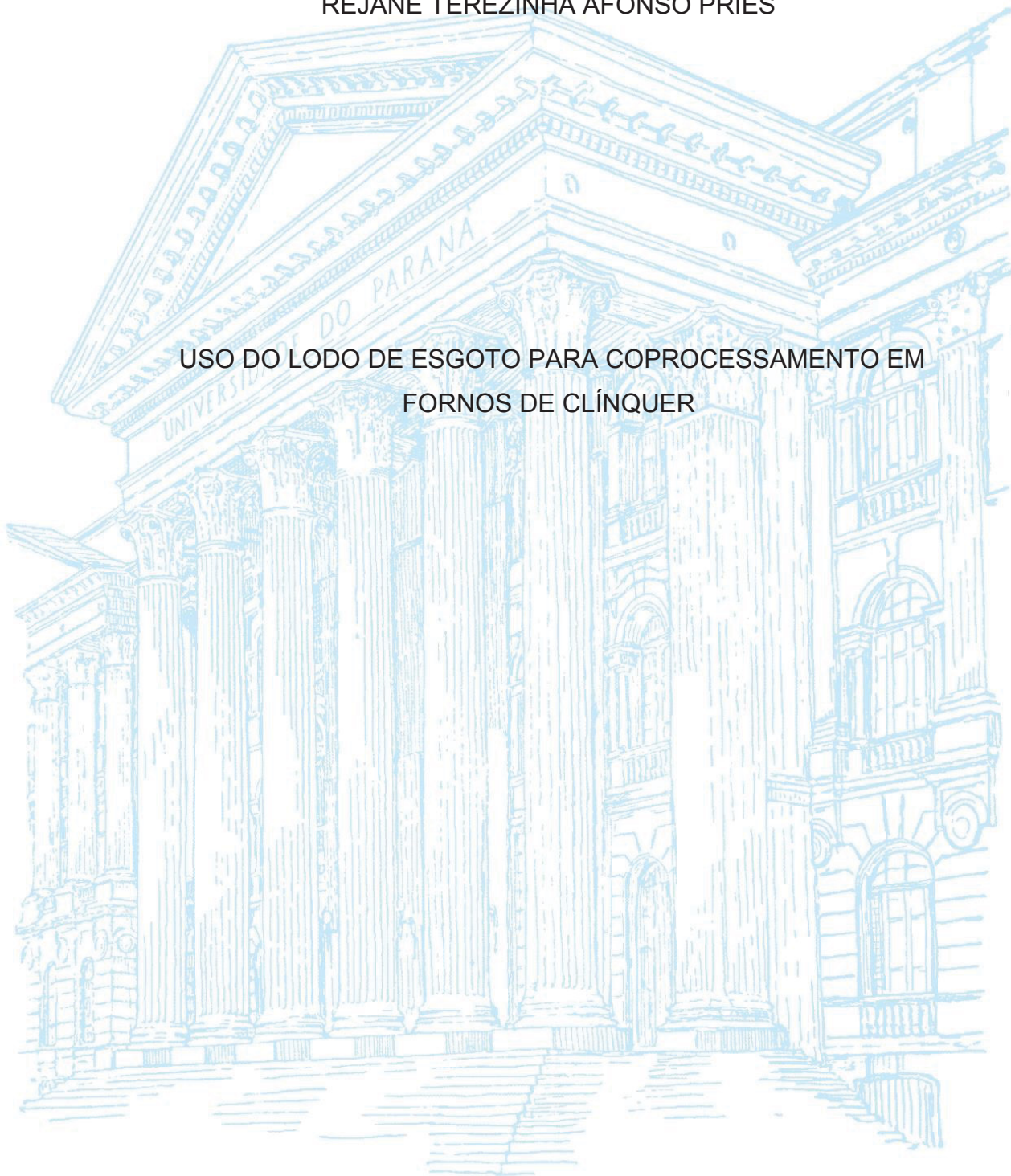


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

REJANE TEREZINHA AFONSO PRIES

USO DO LODO DE ESGOTO PARA COPROCESSAMENTO EM
FORNOS DE CLÍNQUER



CURITIBA

2018

REJANE TEREZINHA AFONSO PRIES

USO DO LODO DE ESGOTO PARA COPROCESSAMENTO EM
FORNOS DE CLÍNQUER

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, em parceria com a Universidade de Stuttgart e o Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Klaus Martin Fischer
Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Margarete
Casagrande Lass Erbe

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

P949u

Pries, Rejane Afonso

Uso do lodo de esgoto para coprocessamento em fornos de clínquer /
Rejane Afonso Pries. – Curitiba : UFPR : SENAI : Universidade de Stuttgart,
Alemanha, 2018.

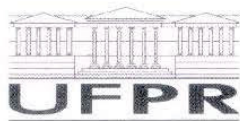
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2018.

Orientador: Klaus Martin Fischer. - Coorientadora: Margarete Casagrande
Lass Erbe

1. Resíduos como combustível. 2. Coprocessamento. 3. Resíduos
industriais - Aspectos ambientais. 4. Reaproveitamento (Sobras, refugos,
etc.). I. Universidade Federal do Paraná. II. SENAI. III. Universidade de
Stuttgart. IV. Fischer, Klaus Martin. V. Erbe, Margarete Casagrande Lass. VI.
Título.

CDD: 628.44

Bibliotecária: Vanusa Maciel - CRB - 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **REJANE TEREZINHA AFONSO PRIES** intitulada: **USO DO LODO DE ESGOTO PARA COPROCESSAMENTO EM FORNOS DE CLÍNQUER**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 15 de Agosto de 2018.

MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

MARIANNE SUMIE KAWANO
Avaliador Externo (UFPR)

MAURICY KAWANO
Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela vida, seu incondicional amor e por me proporcionar tantas realizações.

Aos meus pais Silvio e Leoni Afonso pela educação e ensinamentos.

Às minhas amadas filhas, Letícia e Renatha Mehl que são a verdadeira razão da minha vida.

Ao meu marido Leandro Pries, pelo apoio e incentivo.

À CS Bioenergia por acreditar que este trabalho seria possível e permitir o desenvolvimento dele em suas instalações.

Aos amados professores, mentores e orientadores Dra Margarete Lass Erbe Casagrande e Dr. Klaus Fisher pela amizade, carinho, apoio e dedicação a esse projeto.

Ao corpo docente do MAUI, que tanto admiravelmente se dedicam ao verdadeiro papel de professor, que é ensinar e amar aquilo que se faz.

Um agradecimento à professora Daniela Neuffer e a todo DAAD e Universitat Stuttgart pelo período de curso de especialização em meio ambiente na Alemanha, que foram de uma experiência única em minha vida.

À banca avaliadora, MSc Mauricy Kawano e Dra Marianne Kawano que gentilmente cederam seu tempo para fazer parte da avaliação deste trabalho.

Aos amigos do MAUI, pelas conversas e aprendizado juntos em especial às queridas Adrielly, Ana Carolina, Jaqueline, Andressa, Patrícia e Gisele Hann.

RESUMO

Lodos de esgoto são resíduos gerados em estações de tratamento de efluentes e precisam de destinação adequada. Conforme preconiza as legislações tanto do Brasil quanto da Alemanha, deve-se respeitar a hierarquia de soluções para destinar um resíduo, e desta forma, o lodo de esgoto pode ser utilizado como substituto de energia em fornos de clínquer por meio da tecnologia de coprocessamento. O coprocessamento utiliza resíduos como substitutos de energia ou matéria-prima e os lodos de esgoto podem ser utilizados como combustível alternativo nesses fornos. Essa tecnologia já é realizada em alguns países, que utilizam o lodo de esgoto como substituto energético. A problemática envolvendo a utilização dos lodos de esgoto é primeiramente sua característica de possuir uma alta umidade, fato que faz com que este resíduo necessite de secagem prévia para então ser destinado como substituto de energia. Características como teor de metais pesados também são importantes para definir, conforme legislações aplicáveis a coprocessamento, se o lodo de esgoto poderá ser utilizado como fonte de substituto de combustível em cimenteiras. Foram discutidas também analogias entre os resultados do lodo com as legislações para coprocessamento no Brasil e na Alemanha.

Palavras-chave: Lodos de esgoto. Coprocessamento. Substitutos de combustíveis fósseis. Resíduos.

ABSTRACT

Sewage sludge is waste generated in effluent treatment plants and needs proper disposal. As recommended by both Brazilian and German legislation, the hierarchy of solutions for waste disposal must be respected, so that sewage sludge can be used as a substitute for energy in clinker kilns through coprocessing technology. Coprocessing uses waste as energy substitutes or feedstock and sewage sludge can be used as alternative fuel in these furnaces. This technology is already carried out in some countries, which use sewage sludge as an energy substitute. The problem involving the use of sewage sludge is primarily its characteristic of having a high humidity, fact that causes that this residue needs to be dried before being destined as a substitute of energy. Characteristics such as the content of heavy metals are also important to define, according to applicable coprocessing legislation, if sewage sludge can be used as a substitute fuel source in cement. Analogies were also discussed between sludge results with coprocessing legislation in Brazil *and Germany*.

Keywords: Sewage sludge. Coprocessing. Fossil fuel substitutes. Waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – HIERARQUIA DE SOLUÇÕES.....	20
FIGURA 2- FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CIMENTO DE FORNO VIA SECA COM PRÉ CALCINADOR.....	23
FIGURA 3 - EMPILHAMENTO EM CAMADAS DO MATERIAL BRITADO E RETOMADA.....	24
FIGURA 4- CLÍNQUER ANTES DA MOAGEM.....	25
FIGURA 5- FORNO DE CLÍNQUER	26
FIGURA 6 -DESENHO ESQUEMÁTICO DE SISTEMA DE <i>BY PASS</i>	28
FIGURA 7- PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS E COMBUSTÍVEL CONVENCIONAL NO SISTEMA TORRE DE CICLONES COM PRÉ-CALCINADOR + FORNO.....	37
FIGURA 8 - BOMBA PNEUMÁTICA PARA ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS PASTOSOS.....	39
FIGURA 9– ESQUEMA DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO PRÉ CALCINADOR E MAÇARICO PRINCIPAL VIA ROTOR.	40
FIGURA 10– TRANSPORTE VIA CORREIAS PARA ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS.....	41
FIGURA 11- MAÇARICO, COM TUBULAÇÕES PARA RECEBIMENTO DE RESÍDUOS.....	41
FIGURA 12– IMAGEM DAS SAÍDA DOS RESÍDIOS.	42
FIGURA 13- CRONOLOGIA DA LEGISLAÇÃO DE COPROCESSAMENTO NO BRASIL.	43
FIGURA 14- DESENHO ESQUEMÁTICO DAS POSSÍVEIS DESTINAÇÕES DO LODO DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADO.	47
FIGURA 15- EXEMPLO DE GREEN HOUSE + FLOOR HEATING, ESTUFA OPERADA POR ENERGIA SOLAR NA ALEMANHA.	53
FIGURA 16- FLUXOGRAMA DO PROCESSO GERADOR DE LODO DIGESTADO SECO.....	55
FIGURA 17- DESCARREGAMENTO DE LODO PARA CONSUMO NOS FORNOS DE UMA FÁBRICA NA EUROPA.....	57
FIGURA 18 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA ADOTADA NO ESTUDO.....	67
FIGURA 19– COLETA DE AMOSTRA EM CAÇAMBA DE LODO.....	69
FIGURA 20- PROCESSO DE AMOSTRAGEM E QUARTEAMENTO DO LODO.....	70
FIGURA 21– RESULTADO DA SECAGEM DE AMOSTRA DE LODO SECO A 25,7% DE UMIDADE.....	79
FIGURA 22– FÁBRICA DE CIMENTO SCHWENCK – ALLMENDINGER ALEMANHA.....	81

FIGURA 23– LODO DIGESTADO ORIUNDO DE GERADOR DE BIOGÁS NA ALEMANHA.....	81
FIGURA 24 – RESÍDUO SÓLIDOTRITURADO EM BLENDEIRA.....	82
FIGURA 25– PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DO LODO NO TESTE NA CIMENTEIRA.	95

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS E PODER CALORÍFICO DOS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NAS CIMENTEIRAS.....	30
TABELA 2 - COMPARATIVO DO PODER CALORÍFICO ENTRE COMBUSTÍVEIS.	35
TABELA 3 - COMPARAÇÃO ELEMENTAR ENTRE O LODO IN NATURA E O LODO DIGESTADO.	50
TABELA 4: DADOS DE PODER CALORÍFICO E UMIDADE DE AMOSTRAS DOS LODOS IN NATURA E DIGESTADO.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1- TIPOLOGIA DE RESÍDUOS COPROCESSADOS NO BRASIL EM 2016.	35
GRÁFICO 2 - TIPOS DE SECADORES DE LODO UTILIZADOS NA ALEMANHA EM 2012.	52
GRÁFICO 3 - CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NAS CIMENTEIRAS ALEMÃS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS.	60
GRÁFICO 4 - TIPOLOGIA DE RESÍDUOS COPROCESSADOS NA ALEMANHA EM 2016.	61
GRÁFICO 5 - CURVA DE SECAGEM DO LODO IN NATURA.....	78

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS CONFORME SUA DESTINAÇÃO USUALMENTE UTILIZADA NOS FORNOS.....	36
QUADRO 2 - RESÍDUOS PERMITIDOS E NÃO PERMITIDOS PARA COPROCESSAMENTO	43
QUADRO 3 - COMPARATIVO ENTRE AS LEGISLAÇÕES DO PARANÁ E MINAS GERAIS PARA AS CARACTERÍSTICAS DE RECEBIMENTO DE RESÍDUO PARA O COPROCESSAMENTO	45
QUADRO 4 - LIMITES ESTABELECIDOS PELA LEGISLAÇÃO ALEMÃ, EUROPÉIA E NORMA DO SETOR CIMENTEIRO/RESÍDUOS	65
QUADRO 5 - PRÉ-CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO PARA AMOSTRAGEM	69
QUADRO 6 - TEMPOS DE SECAGEM ESTABELECIDOS PARA O LODO IN NATURA E DIGESTADO	71
QUADRO 7 - PARÂMETROS E MÉTODOS DE ANÁLISE UTILIZADOS PELO LABORATÓRIO	74
QUADRO 8 - TEOR DE SÓLIDOS E TEMPOS DE SECAGEM EM ESTUFA DO LODO IN NATURA PROVENIENTE DO FILTRO PRENSA.....	77
QUADRO 9 - CÁLCULO DA SUBSTITUIÇÃO ENERGÉTICA NO FORNO DE CLÍNQUER DAS AMOSTRAS DE LODO	80
QUADRO 10 - TIPOS DE RESÍDUOS COPROCESSADOS/BLENDADOS	82
QUADRO 11 - PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUO PARA COPROCESSAMENTO NO FORNO DE CLÍNQUER	83
QUADRO 12 - PARÂMETROS E LIMITES PARA ACEITE DE UM RESÍDUO (PASTOSO).....	84
QUADRO 13 - PARÂMETROS E LIMITES PARA ACEITE DE UM RESÍDUO (SÓLIDO)	85
QUADRO 14 - EQUIPAMENTOS INSTALADOS PARA COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS.....	86
QUADRO 15 - A AMOSTRA DE LODO DE ESGOTO ESTAVA ADEQUADA PARA SER CONSUMIDA COMO PASTOSO	86
QUADRO 16 - PONTO DE ALIMENTAÇÃO MAIS ADEQUADO DO LODO DE ESGOTO PASTOSO.....	86
QUADRO 17 - RESULTADO DO ACEITE DAS CIMENTEIRAS E BLENDEIRAS DA AMOSTRA DE LODO DE ESGOTO DIGESTADO SECO PARA COPROCESSAMENTO	87
QUADRO 18 - PONTO DE ALIMENTAÇÃO MAIS ADEQUADO DO LODO DIGESTADO SECO NAS CIMENTEIRAS ENTREVISTADAS.....	87
QUADRO 19 - RESTRIÇÃO AO RECEBIMENTO DOS LODOS NA CIMENTEIRA E BLENDEIRA	88
QUADRO 20 - COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS DO LODO IN NATURA E LODO DIGESTADO COM OS LIMITES MÁXIMOS DAS LEGISLAÇÕES E NORMAS DA ALEMANHA E BRASIL	90

LISTA DE SIGLAS

ABCP	-	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	-	Associação brasileira de normas técnicas
CDR	-	Combustível derivado de resíduo
CEMA	-	Conselho estadual de meio ambiente
CEMBUREAU	-	European Cement Association
CONAMA	-	Conselho nacional do meio ambiente
COPAM	-	Conselho Estadual de Política Ambiental
CONSEMA	-	Conselho estadual de meio ambiente do Rio Grande do Sul
COT	-	Carbono orgânico total
COV	-	Compostos orgânicos voláteis
CETESB	-	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CSI	-	Iniciativa de sustentabilidade do cimento
CSS	-	Combustível sólido de substituição
EPI	-	Equipamento de Proteção individual
EURITIS	-	European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste
IBAMA	-	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LQ	-	Limite de quantificação
MG	-	Minas Gerais
NBR	-	Norma Brasileira
PCOPs	-	Principais Compostos Orgânicos Perigosos
PCS	-	Poder Calorífico Superior
PNRS	-	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PR	-	Paraná
RSI	-	Resíduos sólidos industriais

RSU	-	Resíduo sólido urbano
SOx	-	Óxidos de enxofre
SP	-	São Paulo
UE	-	União Europeia
VDZ	-	Associação Alemã de Fábricas de Cimento (Verein Deutscher Zementwerke)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	Objetivo geral.....	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Resíduos sólidos – Definição, Tratamentos e DESTINAÇÃO	19
2.1.1	A história do cimento	21
2.1.2	Fabricação de cimento.....	22
2.1.3	Emissões atmosféricas nas fábricas de cimento	29
2.2	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, ALTERNATIVOS E RESÍDUOS UTILIZADOS NAS CIMENTEIRAS	29
2.3	COPROCESSAMENTO.....	31
2.3.1	Histórico do coprocessamento no Brasil e no mundo	31
2.3.2	Tecnologia do coprocessamento	33
2.3.3	Tipologia de resíduos coprocessáveis	34
2.3.4	Pontos de alimentação de resíduos nos fornos	36
2.3.5	Equipamentos utilizados para alimentar resíduos no sistema forno e torre de ciclones.....	38
2.3.6	Legislação aplicável ao coprocessamento no Brasil.....	42
2.4	LODOS DE ESGOTO	45
2.4.1	Tratamento de lodos de esgoto por biodigestão e a geração de lodos digestados	46
2.4.2	Panorama das destinações do lodo de esgoto no mundo e no Brasil	47
2.4.2.1	Geração e Tratamento de Lodos de Esgoto no Estado do Paraná.....	49
2.4.3	Potencial energético de lodos de esgoto in natura e digestados	50
2.4.4	Tecnologias para redução da umidade nos lodos de esgoto	51
2.4.5	Coprocessamento de lodos de esgoto in natura e digestados – melhores práticas	56
2.5	COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS NA ALEMANHA	59
2.5.1	Legislação para coprocessamento na Alemanha	62
3	METODOLOGIA.....	67
3.1	CaracterizaÇÃO DE amostras de lodo de esgoto in natura e lodos de esgoto DIGESTADOS para fins de substituto energético da indústria cimenteira	68
3.1.1	Amostragem do lodo de esgoto in natura	68
3.1.2	Secagem das amostras	70
3.1.3	Construção da curva de secagem	71
3.1.4	Amostragem e secagem dos lodos de esgoto in natura e digestado para análise em laboratório externo.....	72
3.1.5	Análise do poder calorífico de duas amostras de lodo in natura em laboratório externo.....	73
3.1.6	Caracterização das amostras conforme parâmetros da legislação de coprocessamento CEMA 76/09 e DN 154/10 em laboratório acreditado pelo INMETRO.	73
3.1.7	Cálculo dos ganhos de substituição térmica das amostras de lodo de esgoto in natura e digestado	74

3.2	IDENTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DOS LODOS DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADOS SECOS NO SISTEMA FORNO E TORRE DE CICLONES DA INDÚSTRIA CIMENTEIRA	75
3.3	viabilidade de coprocessamento do lodo de ESGOTO IN NATURA E DIGESTADO em fornos de clínquer, de acordo com os regulamentos, normas e legislações da Alemanha e do Brasil	76
3.4	TESTE DO LODO DE ESGOTO DIGESTADO NO FORNO DE CLÍNQUER DE UMA CIMENTEIRA.....	76
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
4.1	Caracterização das amostras de lodoS de esgoto IN NATURA E DIGESTADO para fins de substituição energética Na indústria cimenteira	77
4.2	viabilidade operacional do coprocessamento do lodo de esgoto digestado em fornos de clínquer da indústria cimenteira	81
4.3	VIABILIDADE DO COPROCESSAMENTO DO LODO DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADO DE ACORDO COM REGULAMENTOS, NORMAS E LEGISLAÇÕES DA ALEMANHA E DO BRASIL.....	89
4.4	TESTE DO LODO DE ESGOTO DIGESTADO SECO NO FORNO DE CLÍNQUER EM UMA CIMENTEIRA.....	94
5	CONCLUSÃO.....	96
	REFERÊNCIAS.....	99
	APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO 01 ORIENTATIVO PARA PESQUISA	107
	APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO 02 ORIENTATIVO PARA PESQUISA	109
	ANEXO 1 – LAUDO AMOSTRA 01	111
	ANEXO 2 – LAUDO AMOSTRA 02	113
	ANEXO 3 – LAUDO AMOSTRA 03.....	115
	ANEXO 4 – LAUDO AMOSTRA 04.....	120
	ANEXO 5 –AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL	125

1 INTRODUÇÃO

A busca por alternativas energéticas que minimizem a dependência da sociedade moderna em combustíveis fósseis tem sido objeto de inúmeras pesquisas em nível mundial. (GOMES, 2012).

O lodo de esgoto é o resíduo gerado em estações de tratamento de efluentes ou águas residuais e pode estar poluído pela quantidade de dejetos e carga orgânica acumulada. Por se tratar de um resíduo, o lodo precisa ser destinado de forma eficiente, social e ambientalmente correta por evitar e/ou minimizar impactos ao meio ambiente. (YEQING LI et al,2013).

A norma brasileira ABNT NBR 10004:2004 é a norma que define resíduos sólidos como aqueles nos estados sólido ou semissólido, originados de vários processos, tanto industriais, comerciais, agrícolas, de varrição, e até mesmo os domésticos. Desta forma, os lodos de esgoto, gerados em processos de sistemas de tratamento de água ficam incluídos nesta definição. (ABNT, 2004).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, 12.305/2010 em seu Art. 1º relata as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. O Artigo 9º, trata de objetivos referente a hierarquia das tratativas no gerenciamento de Resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada. (PNRS, 2010).

Das disposições ambientais possíveis para a destinação do lodo de esgoto, cita-se o aterro, incineração, reaproveitamento na agricultura e o coprocessamento. Destas, o coprocessamento em fornos de clínquer nas cimenteiras, tem-se mostrado há muitos anos e em diversos países, inclusive no Brasil, uma das melhores opções para destinação de vários tipos de resíduos, dentre eles resíduos perigosos.

O coprocessamento é uma tecnologia que utiliza resíduos específicos, como substitutos de energia ou de matéria-prima. Essa tecnologia pode substituir o combustível principal, coque de petróleo ou carvão mineral, por exemplo, e a matéria-prima, calcário e outros aditivos para a produção do clínquer, base do produto cimento, sem gerar resíduos nesse processo, mostrando ser uma tecnologia limpa de destinação final de resíduos. (ABCP, 2016).

Este trabalho visa identificar a possibilidade do uso de lodos de esgoto como alternativa de substituição energética, ao combustível fóssil principal, em fornos de clínquer nas cimenteiras por meio da tecnologia do coprocessamento conforme legislação brasileira com uma analogia à legislação alemã.

O volume gerado de lodos de esgoto tem aumentado significativamente nos últimos anos, parte pelo próprio crescimento da população, mas também pelo aumento no volume de lodo tratado. O gerenciamento deste resíduo gerado, bem como sua destinação adequada ainda apresenta um grande desafio as cidades e novas tecnologias são sempre bem-vindas para este fim.

As tecnologias conhecidas hoje para a destinação do lodo são basicamente aterro sanitário e insumo agrícola. O coprocessamento pode ser uma alternativa viável para esse volume de lodo gerado, por ser uma tecnologia bastante difundida mundialmente e de comprovada eficácia na destinação adequada de resíduos, parte por utilizar estes materiais como fonte alternativa de substitutos térmica ou de matérias-primas.

Verificar a viabilidade técnica desta destinação via coprocessamento para lodos de esgoto, tratados em biodigestores ou não, justifica o estudo deste trabalho pelos benefícios que pode trazer uma nova tecnologia de reaproveitamento deste resíduo para fins mais sustentáveis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica para o uso de lodos de esgoto para fins de aproveitamento energético em fornos de cimento por meio da tecnologia de coprocessamento.

1.1.2 Objetivos específicos

- a. Caracterizar amostras de lodo de esgoto in natura e lodos de esgoto digestado para fins de substituição energética na indústria cimenteira.
- b. Identificar equipamentos e pontos de alimentação para o coprocessamento de lodos de esgoto in natura e digestado no sistema forno e torre de ciclones da indústria cimenteira;
- c. Verificar a viabilidade de coprocessamento do lodo de esgoto in natura e digestado em fornos de clínquer, de acordo com os regulamentos, normas e legislações da Alemanha e do Brasil;
- d. Testar o lodo de esgoto digestado em forno de clínquer na indústria cimenteira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS – DEFINIÇÃO, TRATAMENTOS E DESTINAÇÃO

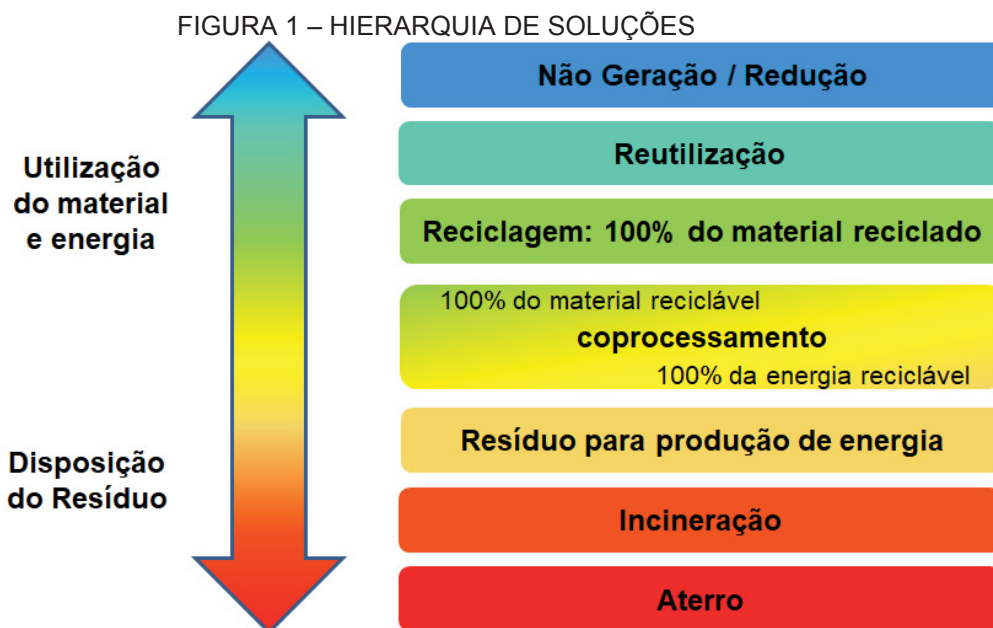
Considerando a definição de resíduos conforme norma estabelecida pela ABNT, NBR 10.004:2004, resíduos sólidos são o resultado de processos de diferentes tipos, como por exemplo, processos industriais, domésticos, hospitalares, comerciais, entre outros. Ficam incluídos também nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição que possam exigir tratamentos específicos ou sua destinação final propriamente dita (ABNT, 2004).

A NBR 10.004:2004, é a norma utilizada e aceita para classificar os resíduos em duas categorias distintas: classe I, resíduos perigosos e classe II não perigosos. Para os não perigosos, há ainda uma subclassificação, entre classe I A, resíduos não perigosos não inertes e classe II B resíduos inertes. (ABNT, 2004).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei Federal nº 12.305/2010) reafirma os critérios da Norma ABNT 10.004 para definir resíduos em razão de suas características, indicando que o gerador deste resíduo deve promover o seu gerenciamento bem como dar a destinação final ambientalmente adequada ao resíduo, nos termos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sob pena de sofrer responsabilidade administrativa, civil e criminal. (PNRS, 2010).

Considerando a hierarquia de soluções para resíduos sólidos, a ordem prioritária de destinação é: Não geração, redução, reutilização, reciclagem e recuperação, disposição final ambientalmente adequada. Considerando que a melhor tecnologia para destinação de resíduos deve buscar o mais significativo ganho ambiental, correta higienização dos resíduos, proteção à saúde das pessoas e qualidade ambiental. (PNRS, 2010).

Considerando as propostas de destinação de resíduos, segundo PNRS (2012), a (FIGURA 1) ilustra a hierarquia de soluções.



FONTE: O autor, adaptado de PNRS (2012).

A não geração ou prevenção/redução é a etapa mais importante no manejo de resíduos sólidos, pois trata da prevenção da geração, tornando os processos mais sustentáveis, limpos e em alguns casos mais econômicos por utilizarem ao máximo suas matérias-primas na produção dos mesmos produtos evitando inclusive desperdícios. Já a redução na geração de um resíduo pode ser verificada como uma forma de maximizar as matérias-primas utilizadas nos processos produtivos e isso incluir novamente investimentos em tecnologias e processos de viabilização. A reutilização de um resíduo ou reuso, está relacionada a maximizar a vida útil de materiais, e também deverá ser feita como prioridade nos processos geradores de resíduos. (TISSOT, 2016).

A reciclagem trata do reprocessamento de resíduos, transformando-o em outros produtos adequados ao uso. Uma das vantagens da reciclagem é que praticamente não utiliza matérias-primas recém-extraídas nos seus processos, reduzindo drasticamente os impactos ambientais. Entretanto, nem sempre a qualidade final de um produto reciclado é igual ao produto inicial, processo denominado de *downcycling*. Plástico e papel, por exemplo, tem sua qualidade diminuída em processos de reciclagem. Porém, o vidro pode ser reciclado infinitamente sem perder suas características e qualidade de um produto fabricado a partir da composição da extração direta de recursos naturais. (CORREA, 2017 e JANZEN, 2013).

Segundo a normativa IBAMA nº 1 de 2013, o coprocessamento de resíduos pode ser considerado uma forma de reciclagem, por se tratar de recuperação energética a partir de resíduos, recebendo inclusive o código R1 do IBAMA como operação de reciclagem, que significa operação de coprocessamento.

As tecnologias de valorização energética possuem grande eficiência de destruição e recuperação e podem ser consideradas opções viáveis para destinação dos resíduos, sendo que pode ser considerada também uma forma de reciclagem de materiais, pois os resíduos de alguma forma estão sendo reaproveitados nessas tecnologias como forma de minimizar impactos ambientais. (PNRS, 2010 e IBAMA, 2013).

Por fim, a etapa final para um resíduo consiste na sua disposição em incineradores e aterros. Na incineração, tem-se o tratamento e neutralização dos resíduos com geração de cinzas, por se tratar de um processo térmico, e essas cinzas podem ser destinadas para disposição em aterros. Nos aterros, a disposição dos resíduos pode ser considerada uma forma de encapsulamento para consumo e/ou reaproveitamento futuro, mas são também considerados geradores de passivos ambientais. (ABCP, 2009).

O coprocessamento é uma tecnologia de destinação de resíduos, entretanto somente pode ser feita em fornos de clínquer em cimenteiras. O cimento é um aglomerante hidráulico, utilizado há alguns séculos, cujos fornos possuem características únicas para a utilização de resíduos como alternativos ao combustível e matéria-prima.

2.1.1 A história do cimento

Os egípcios, segundo remonta a história, foram os primeiros a utilizar uma liga constituída de gesso calcinado, na construção de pirâmides há cerca de 4.500 anos. (BATAGGIN, 2009). Mas foi somente em 1756 que o inglês John Smeaton conseguiu obter um produto de alta resistência por meio da calcinação de uma mistura de calcários e argilosos. Em meados de 1818, o francês Vicat, considerado o inventor do cimento artificial, criou uma formulação a base de argilosos e calcários com alta resistência. O cimento portland, cujo nome vigora até os dias atuais, foi desenvolvido e patenteado pelo inglês Joseph Aspdin. (BATAGGIN, 2009; GUIMARÃES, 2015).

No Brasil, a primeira indústria de cimento Portland teve início em 1924, na cidade de Perus, em São Paulo e em 1933 teve início um significativo crescimento industrial das cimenteiras no país. (BATAGGIN, 2009).

O Brasil conta hoje, segundo dados do SNIC, com mais de 100 fábricas de cimento distribuídas entre 24 grupos cimenteiros locais e internacionais com uma capacidade instalada de mais de 100 milhões de toneladas, sendo que no ano de 2016 a produção foi de 57 milhões de toneladas. (SNIC, 2017).

O maior consumidor mundial de cimento é a China, com mais de 2 bilhões de toneladas consumidas em 2017, seguido da Índia e Estados Unidos com o sexto lugar ocupado pelo Brasil. (VISED, 2018; CEMBUREAU, 2016).

2.1.2 Fabricação de cimento

Existem atualmente dois processos para a produção de clínquer: Processo via úmida e processo via seca. No processo via úmida, as matérias-primas são moídas com água, com consumo adicional de energia para sua evaporação. No processo via seca, as matérias-primas são moídas na forma de pó, sem adição de água, e, portanto, dispõem menos combustível na produção do cimento. (RAMOS, 2015 e PAULA, 2009).

Segundo dados do CSI (2014) O processo via úmida vem sendo substituído pelos processos de via seca, sendo que 87% dos fornos de cimento no mundo já operam via seca. Na Alemanha, 93,8% dos fornos de clínquer são via seca (VDZ, 2011 e VISED, 2018) e no Brasil, 99%. (ABCP, 2017).

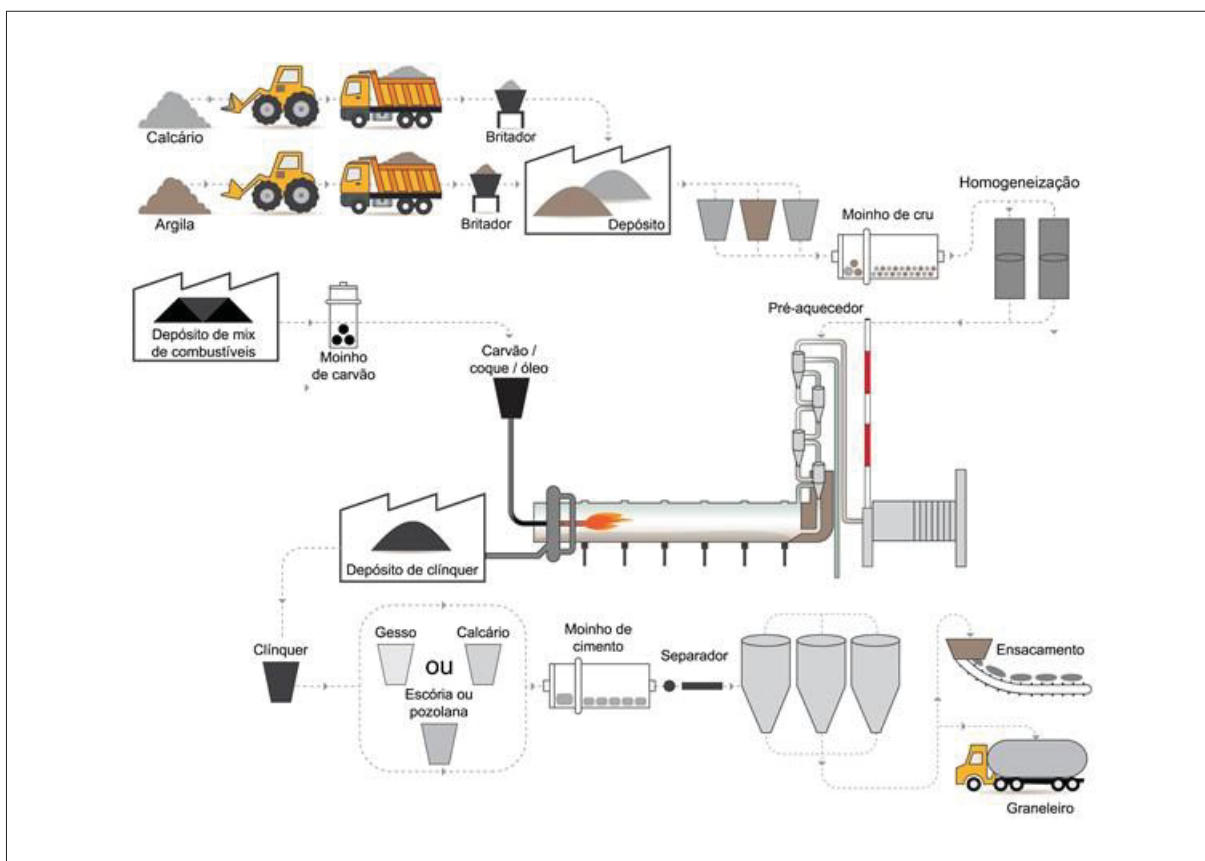
Um dos fatores que contribuíram para o fato do Brasil estar com praticamente todos os fornos operando em via seca, foi a crise energética no final da década de 1970, que forçou a redução no consumo de combustíveis derivados do petróleo e impulsionou a modernização nos processos no intuito de reduzir o consumo de energia do setor e seus custos operacionais. (KIHARA, 2014).

Basicamente, o processo de produção de Cimento Portland é oriundo de uma atividade integrada que envolve a exploração de matérias-primas, seu beneficiamento, sua transformação química em clínquer (base da produção de cimento) e moagem. (SNIC, 2017).

A (FIGURA 2) ilustra as etapas e os principais equipamentos utilizados durante a produção de cimento, considerando tecnologias modernas de fornos de via

seca, desde a extração da matéria-prima nas minas de calcário até a expedição do cimento.

FIGURA 2- FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CIMENTO DE FORNO VIA SECA COM PRÉ CALCINADOR



FONTE: O autor, adaptado de FAESA (2014).

Das etapas mostradas na (FIGURA 2), a descrição:

Etapa 1: Mina - A extração de matérias-primas para a produção de cimento, ocorre em minas de rocha dos tipos calcária e argila. O processo de extração se dá por meio de detonações por explosivos específicos. (PRIES, 2016).

Etapa 2: Britagem - Após extração, as rochas são encaminhadas até os britadores com objetivo de reduzirem de tamanho e ficarem adequadas ao empilhamento. (SCHWENCK, 2017; ABCP, 2017).

Etapa 3: Armazenamento, formação das pilhas – O armazenamento é feito por meio de pilhas de homogeneização, que reduzem os desvios de qualidade do material por meio do estudo dos parâmetros de qualidade na produção.(SCHWENCK; 2017).

FIGURA 3 - EMPILHAMENTO EM CAMADAS DO MATERIAL BRITADO E RETOMADA



FONTE: SCHWENCK (2017).

A (FIGURA 3) mostra um exemplo de empilhamento de uma mistura de calcário e argila na planta da cimenteira SCHWENK na Alemanha (2017).

Etapa 4: Dosagem e Moagem de cru – Após o empilhamento, o material é destinado aos moinhos de cru. Os moinhos podem ser do tipo moinho de de bolas ou moinho de rolos. Ambos realizam a cominuição¹ do material, que ao se transformar em um pó fino é denominado de farinha. (AFONSO, 2006).

Etapa 5: Torre de Ciclones - A torre de ciclones aquece a farinha, que é alimentada no duto do 1º ciclone e vai descendo em contra corrente com os gases do forno, trocando calor. Nesta etapa ocorre também parte da descarbonatação do calcário da farinha, CaCO_3 . A torre pode conter o chamado pré-calcinador que é um equipamento que opera como um reator estacionário com queimador próprio ou maçaricos

¹ Cominuição é ato ou efeito de cominuir; fragmentação, espedaçamento : Dicionário Wikipédia, 2018.

secundários e trabalha com temperaturas na faixa de 800 a 850 ° C por meio da alimentação de combustível. (ABCP, 2017; PRIES, 2016, COSTA, 2014;).

Etapa 6: Forno – Quando o ultimo ciclone libera a farinha já preaquecida e descarbonatada, esta é encaminhada a chamada caixa de fumaça, que é a transição entre o duto da torre de ciclones e o forno. A farinha crua passa então pelos processos de secagem final /pré-aquecimento, calcinação final e sinterização ou clínquerização. É na etapa de clínquerização, que opera a aproximadamente 1.500°C, que se forma o clínquer, conforme (FIGURA 4). O clínquer é formado por compostos ativos, que constituem as características do cimento, como sua resistência mecânica. Cita-se como compostos ativos do clínquer as seguintes substâncias: sílico-aluminosas: $(2\text{CaO}.\text{SiO}_2)$ chamado de C_2S , $(3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3)$, representado por C_3A e $(4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3)$, o C_4AF e o $(3\text{CaO}.\text{SiO}_2)$ chamado de C_3S , sendo este último denominado de sinterização. (RAMOS, 2016; AFONSO 2006).

FIGURA 4- CLÍNQUER ANTES DA MOAGEM



FONTE: E-Civil (2016).

O forno é constituído de tubos ou arcos metálicos fundidos, é rotativo e opera de forma inclinada para que a matéria-prima possa descer com mais facilidade e possui um maçarico com chama que pode chegar a 2.000°C. (RAMOS, 2016; GUIMARÃES, 2015). A (FIGURA 5) ilustra um forno de clínquer rotativo.

FIGURA 5- FORNO DE CLÍNQUER



FONTE: PRIES (2017).

Tanto nas etapas 5, para fornos que possuem pré-calcinador, como na etapa 6, diretamente no forno, pode-se utilizar resíduos para a substituição do combustível principal. No pré-calcinador, o combustível é alimentado via maçaricos secundários e no forno via maçarico principal ou caixa de fumaça. Os resíduos entram em canais de alimentação próprios, paralelos a alimentação do combustível principal. Quando o resíduo entra no forno, o combustível principal é retirado automaticamente e tem-se a substituição térmica. (VOTORANTIM, 2017).

O maçarico do forno, ou maçarico principal, é o responsável pelo recebimento dos combustíveis e pela formação da chama, que faz a queima propriamente dita no interior do forno. (AFONSO, 2006).

Uma planta de cimento pode chegar a consumir em média de 3.000 a 6.500 Mega Joules (MJ) de energia para cada tonelada de clínquer produzida, número que depende basicamente da composição da matéria-prima, dos equipamentos e do processo em si. (CSI, 2014).

Etapa 7: O sistema de *bypass* nos fornos- Fábricas que trabalham com a tecnologia do coprocessamento, por meio do uso de resíduos como combustíveis alternativos aos combustíveis fósseis, em quantidades significativas de substituição térmica, precisam de sistemas de expurga de elementos químicos danosos ao processo ou ao meio ambiente. Fábricas na Alemanha, por exemplo, que utilizam percentuais de substituição acima de 93%, possuem o sistema *bypass* instalado. (SHWENCK, 2017).

Elementos químicos considerados danosos, como o cloro e sulfetos em excesso, bem como álcalis (sódio e potássio) também em excesso volatilizam-se a altas temperaturas e condensam nas baixas temperaturas reagindo com a farinha fria,

criando as incrustações e colagens que podem trazer danos como redução da alimentação no forno devido menor diâmetro disponível de passagem da farinha e até paradas do sistema para desentupimento causando prejuízos econômicos a fábrica. (AFONSO, 2006).

Elementos como metais pesados voláteis também podem ser danosos ao processo de coprocessamento por serem fontes de poluição atmosférica. Metais como mercúrio, cádmio, tálio e chumbo por exemplo podem ser incorporados a estrutura do clínquer, mas uma parte volatiliza e sai pela chaminé. O mercúrio volatiliza a baixas temperaturas, entre 120 e 150°C e pode sair na chaminé em concentrações acima deste limite estabelecido. (JANZEN, 2013; SANTI, 2003).

Para diminuir os efeitos causados por estes elementos voláteis, o sistema de *bypass* extrai uma parte de gases de exaustão do forno, refrigerando-os logo em seguida para a retirada do pó. A retirada dos gases é feita por um duto, localizado em um dos lados do forno, de forma que nesta posição os gases do forno possuem menor concentração de poeira e alta concentração gasosa de compostos químicos como o cloro. Os gases do forno contendo Cl e o pó do forno são resfriados de forma a condensar os compostos químicos e fazer sua separação do gás. Esta separação ocorre em um precipitador eletrostático ou em um filtro de mangas, conforme equipamento já existente na planta de cimento. (MUT, 2015)

Os pontos negativos referentes ao *bypass* estão relacionados aos custos de investimento para sua instalação, bem como o aumento das perdas térmicas no forno, ocasionando aumento no consumo térmico, na casa de 6-12 MJ/tonelada de clínquer produzido. (MUT, 2015).

Como pontos positivos, essa retirada de gases possibilita um processo mais estável durante o coprocessamento, com maior consumo de resíduos via processamento. (SCHWENCK, 2017).

FIGURA 6 -DESENHO ESQUEMÁTICO DE SISTEMA DE BY PASS



FONTE: JANZEN (2013), KHD (2013).

A (FIGURA 6) ilustra um desenho esquemático de tubulação de extração de gases com o pó da farinha alimentada, retirando parte dos voláteis que recirculam no sistema.

O sistema de *bypass*, atualmente, é bastante moderno e pode ser economicamente ainda inviável para parte dos grupos cimenteiros. O *bypass* é utilizado em processos com um consumo elevado de resíduos oriundos de sólidos urbanos, cuja quantidade de cloro é elevada, na ordem de 0,7%. E por este motivo, no Brasil, não há fornos com *by pass* instalado. (CSI, 2014; TISSOT, 2016).

Etapa 8: Resfriamento do clínquer – O clínquer, a temperaturas de 1.400 ° C necessita ser resfriado rapidamente para estabilizar termodinamicamente as suas características químicas e cristalinas, além de facilitar seu manuseio. Esse resfriamento pode ser obtido por mecanismos como resfriadores satélites ou resfriador de grelhas. (ABCP, 2014; AFONSO, 2006).

Etapa 9: Moagem de cimento e expedição - A moagem de cimento recebe o clínquer, armazenado em silos, junto com aditivos como gesso, calcário entre outros. Essa adição, basicamente caracteriza os tipos de cimento produzidos. Após moído finamente, o cimento é armazenado, e expedido na forma ensacada ou granel. (LAFARGEHOLCIM, 2017).

2.1.3 Emissões atmosféricas nas fábricas de cimento

O processo de fabricação de cimento é considerado de elevado impacto ambiental, por emitir um volume considerável de gases de efeito estufa, principalmente o CO₂. Cerca de 50 % do CO₂ gerado nas cimenteiras vem da descarbonatação da matéria-prima que compõe o cimento, CaCO₃, 40% da queima de combustíveis, os 10% restantes são originados pelo transporte e geração de energia elétrica. (CSI, 2017).

As emissões das fábricas de cimento representam praticamente cerca de 5% do total das emissões antrópicas de carbono no mundo. (WBCSD, 2010). Sendo que no Brasil, o somatório das em emissões de CO₂, no ano de 2012 representaram cerca de 29,7% das emissões totais neste ano. (BRASIL, 2014).

Além dos gases de efeito estufa, a produção de cimento emite poluentes atmosféricos, tais como material particulado (poeira), SO_x (óxidos de enxofre, SO₂ e SO₃), NO_x (Óxidos de nitrogênio), CO (monóxido de carbono) e gases contendo elementos menores como metais pesados, hidrocarbonetos voláteis, dioxinas e furanos, ácidos halogenados, entre outros. (LORENCETI, 2017; PINHO, 2012).

Para evitar e reduzir as emissões para a atmosfera, as unidades de produção de cimento estão providas de sistemas de controle de poluentes, procurando evitar a sua formação por meio do controle dos parâmetros de funcionamento das diversas unidades e principalmente evitar a emissão pela instalação por meio de sistemas de remoção. (RAMOS, 2015).

Os principais equipamentos de controle utilizados atualmente para a redução das emissões de material particulado são os filtros de manga, os precipitadores eletrostáticos e os filtros híbridos formados por filtros mangas e eletrostáticos. Tanto o filtro eletrostático como o de mangas possuem uma alta eficiência de retenção de partículas, acima de 99%. (RAMOS, 2015; ABCP, 2014).

2.2 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, ALTERNATIVOS E RESÍDUOS UTILIZADOS NAS CIMENTEIRAS

Fornos de clínquer podem usar diferentes tipos de combustíveis. Os tipos de combustíveis fósseis atualmente mais utilizados são: Óleo combustível, carvão

mineral, coque de petróleo, moinha de carvão vegetal, gás natural ou outro combustível, geralmente derivado de produtos de origem fóssil como o petróleo. (CHATZIARAS, 2016; PRIES 2016).

Na (TABELA 1) encontram-se análises dos combustíveis fósseis, coque de petróleo e carvão mineral, mais comumente utilizados em cimenteiras.

O coque de petróleo possui poder calorífico mais elevado que os dois tipos de carvão apresentados, basicamente por conter uma quantidade de carbono superior aos demais. A análise representa uma média para comparação, e os valores de poder calorífico podem variar conforme origem do coque e carvão. (BERGUERAND & LYNKFELT, 2008).

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS E PODER CALORÍFICO DOS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NAS CIMENTEIRAS

Elemento %	Coque de petróleo	Carvão vegetal	Carvão mineral
Carbono	81,32	71,9	70,12
Hidrogênio	2,87	4,2	4,51
Enxofre	6,02	-	1,28
Oxigênio	0,45	11,36	1,13
Nitrogênio	0,88	1,11	2,25
Água	8	7,8	0,85
Cinzas	0,46	3,62	19,86
Poder calorífico kcal/kg	7632,21	6706,73	6473,08

Fonte: BERGUERAND & LYNKFELT (2008), MACHADO & ANDRADE (2004), PAULA (2009).

No Brasil o combustível fóssil mais utilizado ainda é o coque de petróleo e na Alemanha é o carvão mineral. (ABCP,2014; VDZ, 2016).

Além dos combustíveis fósseis, a indústria do cimento tem muitas oportunidades referentes a substituição desses combustíveis por combustíveis alternativos e subprodutos de outros processos. A substituição nas cimenteiras por alternativos e resíduos pode ir além dos combustíveis, ocorrendo substituições na matéria-prima e em produtos constituintes de cimento, dependendo de suas propriedades. Entretanto, todos os alternativos e resíduos devem atender a especificações técnicas, tanto do processo como as de legislação, de forma a não alterar as características do cimento nem tampouco ocasionar danos ambientais e a saúde dos colaboradores que trabalham na cimenteira ou manipulam esses materiais. (CSI, 2014).

A tecnologia para consumo de resíduos e alternativos é chamada de coprocessamento.

2.3 COPROCESSAMENTO

Coproprocessamento é uma tecnologia de recuperação térmica de resíduos, que usa as condições de processo dos fornos de clínquer, como forma de recuperação de energia ou de matérias primas, sendo uma tecnologia mundialmente difundida e praticada em diversos países. (PARLIKAR, 2016; SILVA, 2015).

Das tecnologias disponíveis para destinação de resíduos, o coprocessamento destaca-se por realizar a integração de dois processos concomitantemente, ou seja, enquanto produz clínquer, reutiliza os resíduos para fins de recuperação térmica ou de materiais. (MARINGOLO, 2001).

Essa tecnologia utiliza os resíduos como fonte alternativa de energia pela substituição do combustível principal, o coque de petróleo no Brasil e carvão mineral na Alemanha por exemplo, ou ainda substituindo parte da matéria-prima (ABCP, 2011; SCHWENCK, 2017).

A importância do coprocessamento deve-se ao fato de que, ao se utilizarem resíduos e/ou subprodutos como combustíveis ou matéria-prima, pode reduzir as quantidades de combustíveis fósseis e também preservar jazidas minerais. Isto reflete numa possível redução de impactos ambientais associados ao uso destes. A utilização de resíduos e/ou subprodutos em fornos de clínquer pode ainda reduzir a demanda de aterros e incineradores. (PRIES¹, 2016).

Boa parte desses resíduos vem sendo coprocessados em fábricas de cimento há mais de 20 anos, em países como Estados Unidos, Japão, e pertencentes a união europeia como Noruega, Suíça e Alemanha por exemplo, cujo coprocessamento tem um papel importante no gerenciamento e na disposição de resíduos perigosos. (HASANBEIG, 2012).

2.3.1 Histórico do coprocessamento no Brasil e no mundo

As primeiras experiências com a queima de resíduos em fornos de produção de clínquer Portland foram realizadas com sucesso na década de 70 com o objetivo de diminuir sua dependência de combustíveis derivados de petróleo e de carvão mineral ou vegetal. (ROCHA, 2011).

De 1974 a 1976, a fábrica de cimento Saint Lawrence, no Canadá, fez testes para avaliar a eficiência de destruição de resíduos clorados em fornos via úmida. Na

Europa, o coprocessamento de resíduos em cimenteiras veio logo a seguir, por volta de 1978 com os primeiros testes na Ciment Français (Desvres), e no mesmo ano registraram-se experimentos também com resíduos clorados na Suécia, na fábrica Stora-Vika. Em 1979, o grupo Lafarge iniciou as atividades de coprocessamento nos Estados Unidos, na fábrica de Paulding, Ohio (KIHARA, 2015; VDZ, 2012).

A prática da utilização de resíduos industriais como combustível complementar e alternativo ao combustível convencional, projetou a indústria cimenteira a um patamar econômico inédito, pois de pagadora de combustível passou a obter lucros pela recepção dos resíduos e pela substituição destes. (ROCHA, 2011).

Diante dos testes positivos realizados e da possibilidade de melhora nos custos das fábricas, os níveis de coprocessamento no panorama mundial cresceram significativamente. Países da comunidade europeia, por exemplo, possuem uma taxa média de substituição energética acima de 50% e até 98% como a média anual para algumas plantas específicas. Entre os anos de 2010 a 2011, a Holanda substituiu 83% de seu combustível convencional por resíduos, e a Noruega 60%. Em 2016, a Alemanha chegou próximo a 61% de substituição média anual, considerando todas as cimenteiras deste país, sendo que a cimenteira alemã SCHWENCK obteve em suas duas fábricas, 93% de substituição energética do combustível carvão mineral por resíduos. (SCHWENCK, 2017; FISCHER, 2017).

Entretanto, países como Índia, China e Brasil ainda estão em processo de expansão dessa tecnologia. (ABCP, 2016; HASANBEIG, 2012).

As atividades de coprocessamento de resíduos industriais no Brasil iniciaram-se na década de 90, no Estado de São Paulo, estendendo-se posteriormente para o Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais (ABCP, 2016).

No Brasil, há atualmente 24 grupos cimenteiros, sendo que desses grupos, 38 fábricas são licenciadas para processamento. (VISED, 2017).

O Brasil coprocessou no ano de 2016, 1,6 milhão de toneladas de resíduos que representaram cerca de 10% de substituição térmica total dos combustíveis convencionais usados nos fornos, considerando o potencial de todas as fábricas licenciadas para coprocessamento de resíduos no Brasil, segundo avaliação da ABCP, a capacidade de coprocessamento em massa é de aproximadamente 2,5 milhões de t/ano. (ABCP, 2016).

2.3.2 Tecnologia do coprocessamento

O coprocessamento de resíduos deve garantir a destruição total e definitiva dos resíduos alimentados. Essa garantia vem de várias etapas que incluem as condições básicas como o processo de produção de clínquer, a análise do resíduo a ser recebido bem como sua alimentação e queima e emissões atmosféricas.

Segundo KIHARA (2014), referente ao sistema torre de ciclones + forno pode-se destacar as condições que tornam o coprocessamento único em fábricas de cimento:

- Complexo sistema de filtração de gases, por meio da utilização de filtros antes da chaminé;
- Matérias-primas (farinha) em contra-corrente com os gases de exaustão, sendo que a matéria-prima desce pelos ciclones e os gases sobem em sentido contrário, favorecendo as reações e a troca térmica;
- Turbilhonamento - O forno é rotativo o que favorece a mistura dos materiais, incluindo os compostos dos resíduos alimentados com o clínquer;
- Ambiente alcalino - A origem da matéria-prima basicamente é de óxidos básicos (CaO);
- Altas temperaturas 1.450 – 2.000 °C no interior do forno – Essas temperaturas garantem a formação da fase líquida e portanto, a incorporação das cinzas geradas no processo de queima como também parte dos metais pesados contidos nos resíduos;
- Alta permanência dos gases 4-6 segundos e do material até 35 min – Permitindo um tempo adequado para as reações acontecerem;
- Forno e chaminé monitorados '*on line*' 24 horas por dia - Garante acompanhamento de todo o processo e tempo para tomada de decisões;
- Incorporação das cinzas pelo clínquer – Metais pesados são incorporados na estrutura cristalina do clínquer.

Todas essas vantagens fazem do coprocessamento uma tecnologia considerada definitiva e eficaz de destruição térmica de resíduos. (KIHARA, 2014).

2.3.3 Tipologia de resíduos coprocessáveis

A utilização de resíduos como combustível alternativo nas indústrias cimenteiras já é uma realidade em vários países e tem se mostrado uma alternativa viável para o reaproveitamento térmico da energia contida nesses materiais como também uma opção de redução dos impactos ambientais na disposição final. Materiais como óleos residuais, plásticos, papel, pneus, borras de tinta, lodos de esgoto, combustíveis derivados de resíduos sólidos urbanos (CDR a partir de RSU), entre outros são exemplos de tipologia de resíduos que podem ser utilizados nas cimenteiras. (BAIDYAA,2016).

Para fins de substituição de matéria-prima, resíduos como carepas de ferro, escórias, solos contaminados, resíduos gerados em cubas eletrolíticas de alumínio entre outros são utilizados como componentes da farinha ou como aditivos na correção dos aspectos de qualidade. (KIHARA, 2014).

Resíduos utilizados como substitutos energéticos, são aqueles cujo poder calorífico pode ser utilizado para substituir o combustível convencional utilizado no forno.

A (TABELA 2) mostra uma comparação entre o poder calorífico dos principais combustíveis alternativos usados no coprocessamento com os combustíveis convencionais mais utilizados.

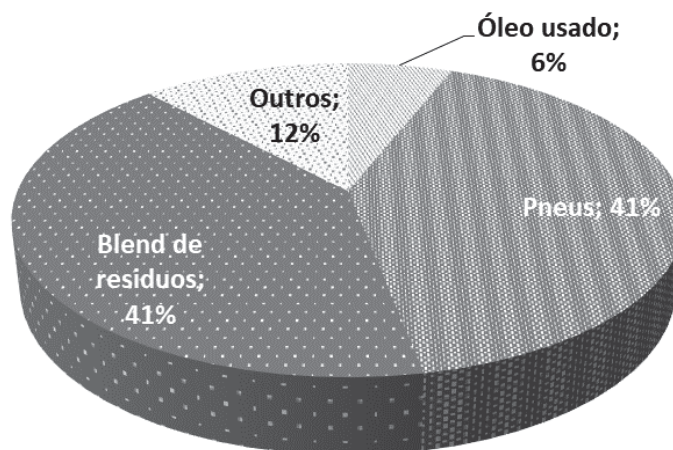
TABELA 2 - COMPARATIVO DO PODER CALORÍFICO ENTRE COMBUSTÍVEIS

Combustível	Poder calorífico kcal/kg
Coque de petróleo	8.373
Carvão mineral	8.413
Carvão vegetal	5.500
Óleo Diesel	10.577
Pneus	7.000
Óleos residuais	8.218
Papel	4.785
Plástico	5.306
Solventes	5.861
Madeira	3.317
CDR	5.474
Farinha Animal	5.457
Lodo biológico de indústrias de papel	4.808
Lodos de ETE (23% umidade)	2.632

FONTE: Adaptado de JANZEN (2013), FISCHER (2017), SCHWENK, (2017).

Percebe-se que pneus e óleos residuais são os resíduos com poder calorífico mais próximo aos combustíveis convencionais. O que comprova os dados referentes ao consumo de resíduos no Brasil, conforme (GRÁFICO 1).

GRÁFICO 1- TIPOLOGIA DE RESÍDUOS COPROCESSADOS NO BRASIL EM 2016



FONTE: Adaptado de ABCP (2016).

Pneus representam o resíduo mais consumido no ano de 2016 nas fábricas que coprocessam resíduos no Brasil, certamente pelo poder calorífico próximo ao do coque, seguido dos *blends* de resíduos².

Resíduos blendados são um outro tipo de resíduo que tem sido utilizado nos fornos de clínquer e representam misturas de diversos tipos de resíduos. As misturas são feitas por empresas especializadas que recebem os resíduos gerados nas indústrias, analisam os mesmos quimicamente e fazem misturas adequadas. (PRIES, 2016).

2.3.4 Pontos de alimentação de resíduos nos fornos

Os pontos de alimentação no sistema torre de ciclones + forno dependem basicamente das características do resíduo recebido. Características físicas como umidade, granulometria, viscosidade são exemplos importantes na decisão do ponto em que ele será alimentado.

O (QUADRO 1) mostra exemplos de tipologia de resíduos com sua classificação como resíduos pastosos ou líquidos e sólidos.

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS CONFORME SUA DESTINAÇÃO USUALMENTE UTILIZADA NOS FORNOS

RESÍDUO	PASTOSO/LÍQUIDO	SÓLIDO
Pneus inteiros ou picados		X
Óleos residuais/borras oleosas	X	
Papel		X
Plástico		X
Solventes	X	
Cavacos de madeira		X

² Blends de resíduo é um processo que consiste na identificação, seleção e processo de resíduos sólidos industriais, no intuito de produzir um combustível alternativo para a indústria do cimento, (PROAMBI, 2018).

RESÍDUO	PASTOSO/LÍQUIDO	SÓLIDO
CDR		X
Farinha Animal		X
Lodo de indústrias de papel	X	
Lodos de ETE (23% umidade)		X
Lodos de ETE (acima de 40% de umidade)	X	

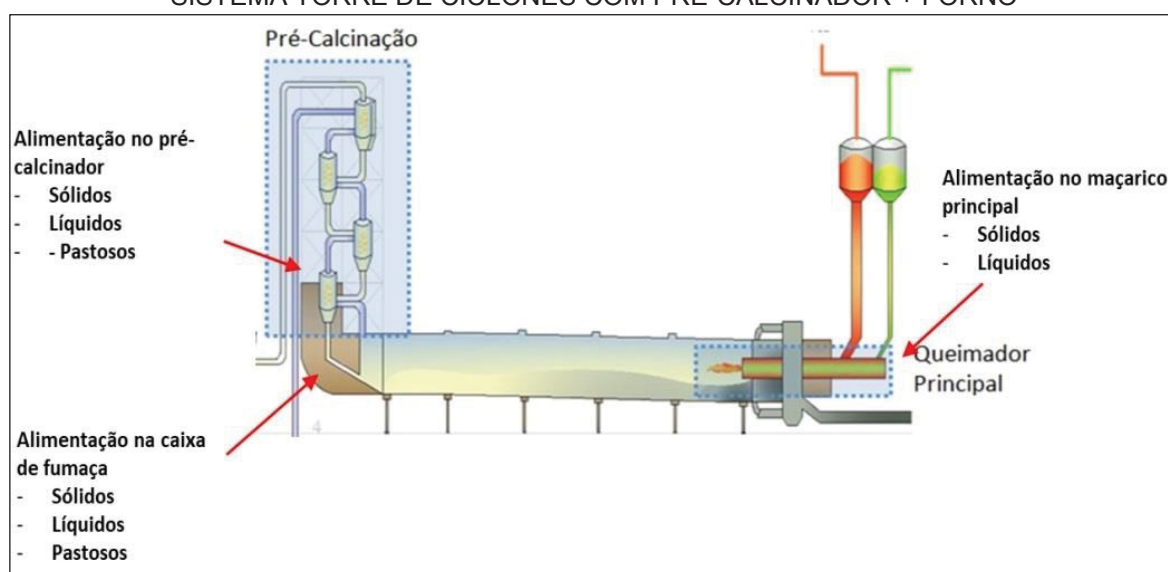
FONTE: Adaptado de SCHWENCK (2017); CHATZIARAS (2016); KARSTENSEN (2007).

O (QUADRO 1) mostra que boa parte dos resíduos são utilizados de forma sólida nos fornos de clínquer.

Fábricas de cimento no Brasil, como a dos grupos cimenteiros Votorantim, Itambé, Interceiment e LafargeHolcim por exemplo, utilizam resíduos líquidos e pastosos bombeáveis e resíduos sólidos. Ambos podem ser alimentados via maçarico principal, diretamente no pré-calcinador ou em pontos estratégicos na entrada do forno. (ABCP, 2014).

Os pontos de alimentação, tanto do combustível convencional como dos resíduos, podem ser verificados na (FIGURA 7).

FIGURA 7- PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS E COMBUSTÍVEL CONVENCIONAL NO SISTEMA TORRE DE CICLONES COM PRÉ-CALCINADOR + FORNO



FONTE: Adaptado de SECIL (2017).

Segundo Nascimento (2017) e TISSOT (2016) os pontos de alimentação possíveis, e os respectivos resíduos, tanto de matérias-primas alternativas como de combustíveis são:

- a) **Farinha** – Matérias – primas alternativas, como lodos, terras, substitutos de aditivos de alumínio, ferro e sílica entre outros.
- b) **Moinho de combustível** – Resíduos que necessitem de moagem antes de sua alimentação, como por exemplo lodos, terras contaminadas com óleo, Combustível sólido de substituição CSS sem contaminações de plásticos ou outros.
- c) **Pré-Calcinador** – Alimentação de resíduos líquidos, pastosos e sólidos diversos triturados, pneus picados triturados com granulometrias maiores que 25 mm, que podem variar de 50 até 100 mm em média. Pode receber também, CSS misturado com o coque.
- d) **Maçarico principal:** Nesse ponto de alimentação, o combustível principal moído é injetado no forno e pode concomitantemente adicionar resíduos sólidos triturados com granulometria menor que 25mm e resíduos líquidos. Pode receber também CSS misturado com o coque.
- e) **Caixa de fumaça** - Resíduos pastosos, líquidos, pneus inteiros, e resíduos triturados.

Um dos grandes desafios na alimentação de resíduos está no fato de não serem homogêneos e, portanto, os equipamentos utilizados para alimentá-los devem estar adequados a essas particularidades. (JENNEWEIN, 2014).

2.3.5 Equipamentos utilizados para alimentar resíduos no sistema forno e torre de ciclones

Os equipamentos de alimentação de resíduos devem apresentar certa flexibilidade, pois os resíduos podem não ser homogêneos apresentando diferentes composições químicas e físicas, sendo que a densidade é um parâmetro decisivo na escolha do equipamento certo de dosagem. Materiais extremamente leves como o CDR e resíduos trituráveis de plástico e papel por exemplo, e muito pesados como lodo de esgoto, farinha animal, papel e resíduos sólidos embebidos em óleo, pneus picados, representam a diversidade de resíduos existentes e a necessidade da

flexibilidade dos equipamentos para alimentá-los no sistema forno e torre de ciclones. (FLSMIDTH, 2017).

Resíduos líquidos e pastosos podem ser dosados por sistemas de bombeamento, em projetos que preveem desde o projeto de recepção com tanques de armazenamento, unidades de bombeamento, trens de válvulas de controle e lança de injeção do resíduo no calcinador, caixa de fumaça ou no maçarico principal. (DYNAMIS, 2014). Bombas de concreto são também utilizadas em cimenteiras da Alemanha e do Brasil para dosar resíduos líquidos e pastosos no calcinador, caixa de fumaça e maçarico principal (SCHWENCK, 2017; DYNAMIS, 2017; AFONSO, 2006).

A (FIGURA 8) exemplifica um dos tipos de equipamentos para alimentação de resíduos, considerando os mais utilizados atualmente e que representa consumo elevado de substituição térmica e consumo em massa.

FIGURA 8 - BOMBA PNEUMÁTICA PARA ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS PASTOSOS



FONTE : AFONSO (2006).

Para resíduos sólidos, principalmente triturados, sólidos secos como lodos, e pneus picados, consumidos via pré-calcinador, os equipamentos mais utilizados são compostos de correias transportadoras com dosadores helicoidais na entrada do sistema torre + forno. São projetos que geralmente visam juntos os sistemas de recepção dos resíduos, armazenamento, transporte e dosagem. (DYNAMIS, 2017).

Resíduos sólidos, como lodos de esgoto, serragem, pneus triturados, CDR e triturados em geral (plástico, papeis, EPI's, entre outros) bem como ração animal, podem ser alimentados no pré-calcinador com dosadores do tipo multicompostíveis.

A (FIGURA 9) ilustra um dos sistemas de dosagem de resíduos sólidos, um equipamento que aceita diferentes tipos de combustíveis alternativos/resíduos, não importando se estes são secos ou úmidos, mesmo que a composição e a consistência dos combustíveis alternativos alimentados sejam diferentes, cujas capacidades de dosagem podem chegar a até 25 t/h de resíduo sólido com precisão de dosagem. Neste tipo de sistema, a alimentação é realizada via silo que alimenta o resíduo por uma porta de descarga diretamente no rotor que alimenta o resíduo no pré-calcinador ou maçarico principal, com dosagem estável de combustível e de forma automática. (FLSMIDTH, 2014).

FIGURA 9 – ESQUEMA DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO PRÉ CALCINADOR E MAÇARICO PRINCIPAL VIA ROTOR



FONTE: FLSMIDTH (2017).

Outro sistema de alimentação de resíduos é o dispositivo via correias de transporte, que pode ser utilizado para o consumo de resíduos sólidos como pneus inteiros e resíduos de maior granulometria, acima de 50 mm, ou resíduos denominados de difícil trituração e que são dosados inteiros, ensacados sendo que a alimentação no interior do forno desse tipo de resíduos, por esta via é feita por um sistema de válvulas abre e fecha. PRIES (2016); TISSOT (2016;). A (FIGURA 10) ilustra esse tipo de transporte, mostrando a alimentação de pneu inteiro.

FIGURA 10– TRANSPORTE VIA CORREIAS PARA ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS.

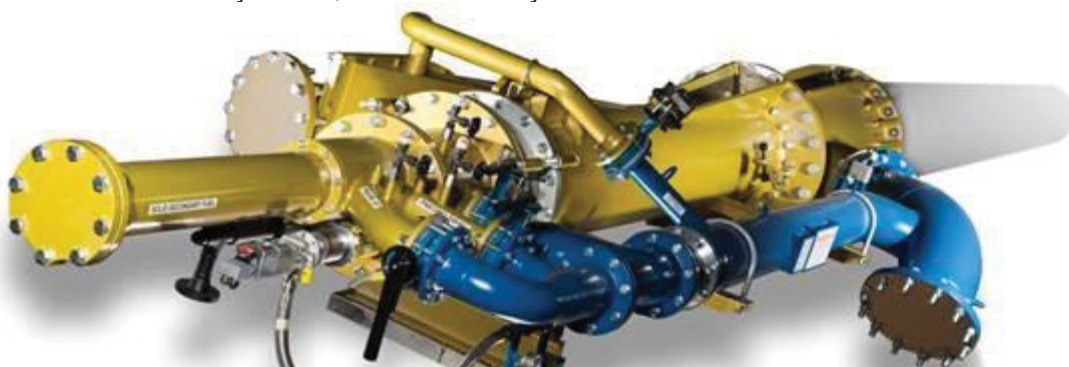


FONTE: PRIES (2016).

O consumo de resíduos via maçarico principal, resultou em alterações no projeto desse equipamento, para evitar deformações na chama do maçarico do forno. Até a década de 1990 os maçaricos eram construídos para alimentar somente os combustíveis tradicionais geralmente de origem fóssil, porém com a advinda do coprocessamento e de resíduos sólidos de granulometrias similares a esses, modificações foram necessárias de modo a atender a mistura atual de combustíveis fósseis, coque e carvão, por exemplo, com combustíveis derivados de resíduos. (HASANBEIJI, 2013).

A (FIGURA 11) ilustra diferentes tubulações que representam as entradas de combustíveis e resíduos, tanto sólidos como líquidos, utilizadas para o recebimento e distribuição para a formação da chama, projetadas para receber resíduos e combustível fóssil concomitantemente. (COMBUSTECH, 2018).

FIGURA 11- MAÇARICO, COM TUBULAÇÕES PARA RECEBIMENTO DE RESÍDUOS



FONTE: COMBUSTECH (2018).

Os queimadores devem atender as especificações de queima de resíduos de diferentes características físicas e granulometrias podendo ser dimensionados para

operação multicomcombustível, utilizando ao mesmo tempo, combustíveis tradicionais com resíduos. (COMBUSTECH, 2018).

A (FIGURA 12) ilustra as saídas dos resíduos, combustível principal e ar comprimido alimentados juntos para a formação da chama.

FIGURA 12– IMAGEM DAS SAÍDA DOS RESÍDUOS



FONTE: DYNAMIS (2014).

A mudança no projeto do maçarico principal para realizar o coprocessamento é importante para esta tecnologia, pois representa melhora nos ganhos em substituição térmica. (SCHWENCK, 2017).

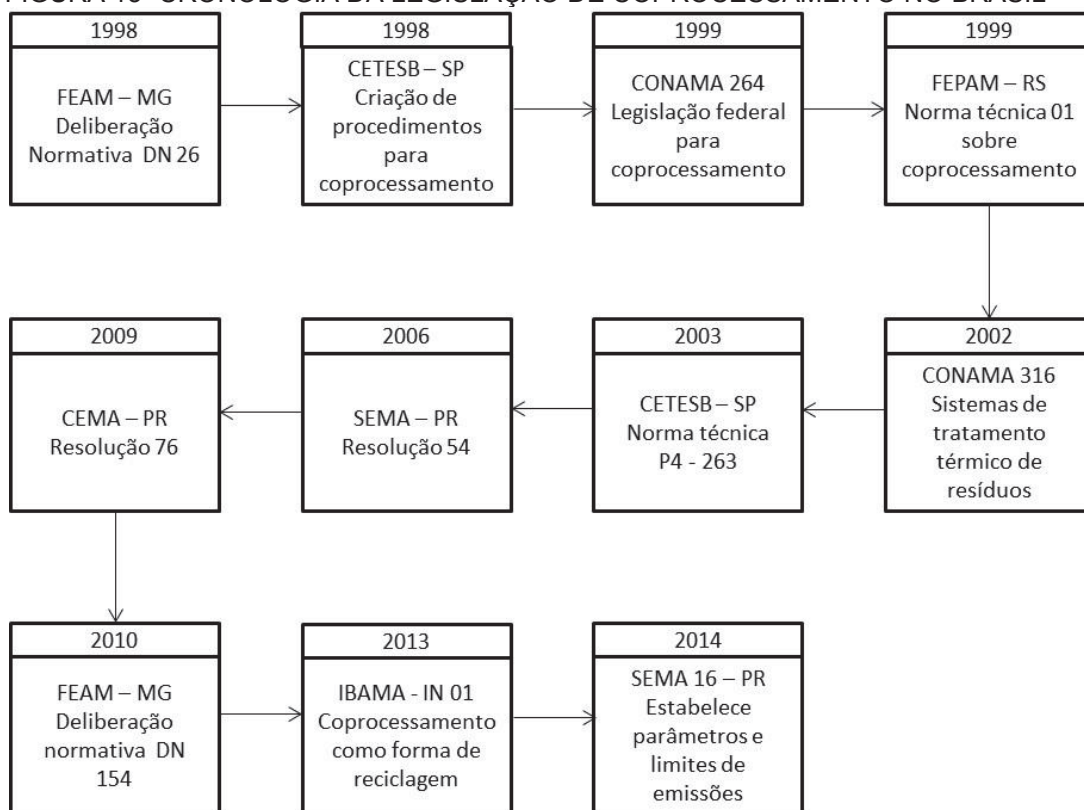
2.3.6 Legislação aplicável ao coprocessamento no Brasil

O Brasil dispõe atualmente de legislações referentes ao coprocessamento, nos âmbitos federal e estadual.

Apesar de algumas legislações estaduais terem sido pioneiras, o CONAMA 264/99 foi a primeira legislação federal a fornecer as principais diretrizes relacionadas ao coprocessamento e a definir quais os resíduos que podem e não podem ser coprocessados, conforme suas características de destruição e periculosidade (CONAMA, 1999).

Cronologicamente, a (FIGURA 13), ilustra a evolução da legislação aplicável a resíduos e que cita ou afeta o coprocessamento no Brasil.

FIGURA 13- CRONOLOGIA DA LEGISLAÇÃO DE COPROCESSAMENTO NO BRASIL



FONTE: O autor, 2018.

O (QUADRO 2) ilustra o que pode e o que não pode ser coprocessado conforme o CONAMA 264/99.

QUADRO 2 - RESÍDUOS PERMITIDOS E NÃO PERMITIDOS PARA COPROCESSAMENTO

RESÍDUOS PERMITIDOS PARA COPROCESSAMENTO	RESÍDUOS NÃO PERMITIDOS PARA COPROCESSAMENTO
Borras oleosas	Radioativos
Borras de tinta	Explosivos
Solventes, óleos e graxas contaminados	Hospitalares
EPI's, estopas, panos e papéis contaminados	Resíduos Domésticos brutos – Lixo comum
Resíduos da indústria química	Pesticidas
Lodos industriais	Organoclorados
Sólidos diversos contaminados	Resíduos com alto teor de cloro
Solos contaminados	Ascarel
Pneus, entre outros	Lâmpadas

FONTE: O autor, adaptado de CONAMA 264, 1999.

Dentre os procedimentos estabelecidos na Resolução CONAMA 264/99, cita-se o monitoramento ambiental que deve ser seguido após aprovação do Teste de queima de resíduos no forno a ser licenciado, bem como o licenciamento das instalações que farão o coprocessamento. Certos parâmetros deverão ser monitorados de forma contínua, ou seja, durante todo o período de funcionamento dos equipamentos considerando suas horas de operação, são eles: Pressão interna, temperatura dos gases do sistema forno e na entrada dos filtros de coleta do material particulado (eletrofiltros ou filtro de mangas), vazão de alimentação do resíduo, material particulado, O₂, CO, NO_x, e THC, que são os hidrocarbonetos emitidos volatilizados. De forma não contínua devem ser monitorados os seguintes parâmetros: SO_x, PCOPs, HCl/Cl₂, HF e as mesmas substâncias inorgânicas que foram monitoradas no Teste de Queima, este monitoramento descontínuo deverá ser feito por empresas especializadas em coleta e análise de gases. (CONAMA, 1999).

A instrução normativa n° 1 do IBAMA de 2013, considera o coprocessamento um processo de reciclagem, pois os resíduos podem fornecer matérias-primas e energia e serem recicladas nos fornos transformando-se em outros produtos. (IBAMA, 2013).

Alguns estados brasileiros, como Minas, Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul possuem instruções normativas que também regulam as taxas de emissões e alguns parâmetros operacionais adicionais a legislação federal, CONAMA 264/1999.

Quanto aos cuidados necessários para o recebimento de resíduos na fábrica, os únicos estados com resoluções mais completas, e mais restritivas são os estados do Paraná e Minas Gerais. Ambas as resoluções, estabelecem parâmetros e limites para o recebimento do resíduo, considerando análises laboratoriais de amostras brutas dos resíduos a serem recebidos pelas cimenteiras. (CEMA, 2009; COPAM, 2010). O (QUADRO 3) ilustra uma comparação entre os parâmetros e limites das duas legislações para o licenciamento dos resíduos nas cimenteiras de seus respectivos estados.

QUADRO 3 - COMPARATIVO ENTRE AS LEGISLAÇÕES DO PARANÁ E MINAS GERAIS PARA AS CARACTERÍSTICAS DE RECEBIMENTO DE RESÍDUO PARA O COPROCESSAMENTO

PARÂMETRO QUÍMICO	LIMITE CEMA 76/09 – PARANÁ	LIMITE COPAM 154/2010 – MINAS GERAIS
Cádmio+ Mercúrio + Tálho	< 200 mg/kg	100 mg/kg
Mercúrio	≤10 mg/kg	≤10 mg/kg
Arsênio+ Cobalto + Níquel+ Selênio + Telúrio	< 5000 mg/kg	Até 1.500 mg/kg
Selênio	< 100 mg/kg	-
Cromo	< 5000 mg/kg	-
Chumbo	< 5000 mg/kg	< 3.000 mg/kg
Antimônio+Cromo+Estanho+Chumbo+Vanádio	-	Até 5.800 mg/kg
Poder calorífico Superior PCS	>1.500 kcal/kg	= 2.000 kcal/kg para resíduos = 1.500 kcal/kg para resíduos sólidos urbanos
Para os casos de substitutos de matérias primas, considera-se a soma de óxidos: $Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3 + F + SO_3 + CaO + Na_2O + K_2O$	>50%	>45%

FONTE: Adaptado de COPAM (2010); CEMA 76 (2009).

Ambas as legislações mostram restrições para o recebimento de resíduos. Para fins de substituição energética, há restrição em relação aos resíduos considerados com baixo poder calorífico superior (PCS). Observa-se que a taxa de alimentação é em consequência das características do processo de clínquerização e consequentemente da taxa de alimentação do material.

Para coprocessar os resíduos na cimenteira, é necessário, conforme CEMA 76/09 e DN 154/10 solicitar ao órgão ambiental autorização para uso, com uma documentação específica a ser entregue ao órgão para análise e parecer técnico deferindo ou indeferindo o uso.

2.4 LODOS DE ESGOTO

O processo de tratamento de efluentes de esgotos gera vários resíduos sólidos, destacando-se o lodo por representar uma maior quantidade. (SANTOS, 2007). Os lodos gerados caracterizam-se basicamente por dois tipos: Lodos domésticos e lodos oriundos da mistura de efluentes domésticos e sanitários. (LI et al, 2013).

Os lodos de esgoto gerados após o processo de tratamento caracterizam-se por conter no mínimo 75% de água e por possuírem poluentes com concentrações elevadas, em alguns casos, de nitrogênio, fósforo, metais pesados como chumbo, cromo, mercúrio e tálio, compostos orgânicos e agentes patológicos como vírus, parasitas e microrganismos como ovos de helmintos, protozoários e bactérias. (LI et al, 2013; TAO, 2012).

Entretanto, essas características podem variar significativamente, pois lodos de esgoto sanitário podem apresentar alta concentração de contaminantes químicos provenientes de produtos domésticos de limpeza, cosméticos, higiene pessoal e remédios causando variações em sua composição final. (PEREIRA, 2017).

A quantidade gerada de lodo de esgoto cresce anualmente, devido principalmente ao aumento populacional e, se não forem planejados e manejados de forma adequada, por apresentarem um potencial poluidor elevado, gerarão graves problemas de contaminação de água, solo e ar. (LAVEZZO, 2016). No Brasil, por exemplo, somente 49,8% do lodo de esgoto é coletado, e deste percentual 70,9% é tratado. (ABREU et al, 2017; BRASIL, 2016)

A Política Nacional de Resíduos Sólido (PNRS, 2010) prevê melhorias no saneamento básico, como o aumento das estações de tratamento de esgoto no Brasil. Desta forma, a geração de lodo de esgoto será ainda maior com o passar dos anos (BRASIL, 2010; MORETTI, 2010).

2.4.1 Tratamento de lodos de esgoto por biodigestão e a geração de lodos digestados

Uma forma empregada de tratamento dos lodos de esgoto é a biodigestão, que pode ser aeróbica e anaeróbica. Os processos aeróbicos são os que requerem energia para aeração do meio e tem uma elevada geração de lodo residual. Já a digestão anaeróbia, sem a presença de aeradores, resulta na destruição dos sólidos voláteis (SV) e a conversão da maior parte da matéria orgânica é transformada em biogás. (LEITE, 2015; SILVA², 2014).

A biodigestão representa uma forma de aproveitamento da energia disponível nos resíduos, pois os digestores estabilizam e reduzem o volume de lodo a ser encaminhado para a destinação e/ou disposição final, pela conversão da energia bioquímica presente no resíduo em biogás. (SILVA³, 2016).

A digestão anaeróbia ocorre na ausência de oxigênio, por um processo que envolve a degradação da matéria-orgânica, que ocorre em várias etapas de forma sequencial. Os grupos de microrganismos específicos, agem nessa degradação formando gases como o metano, (CH_4), gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S), gás amônia (NH_3), entre outros. Dos produtos gerados o CH_4 é o gás que possui potencial para aproveitamento energético, e por isso, quanto maior a fração de metano encontrada no biogás produzido, maior é a eficiência do sistema de digestão (SILVEIRA et al., 2015).

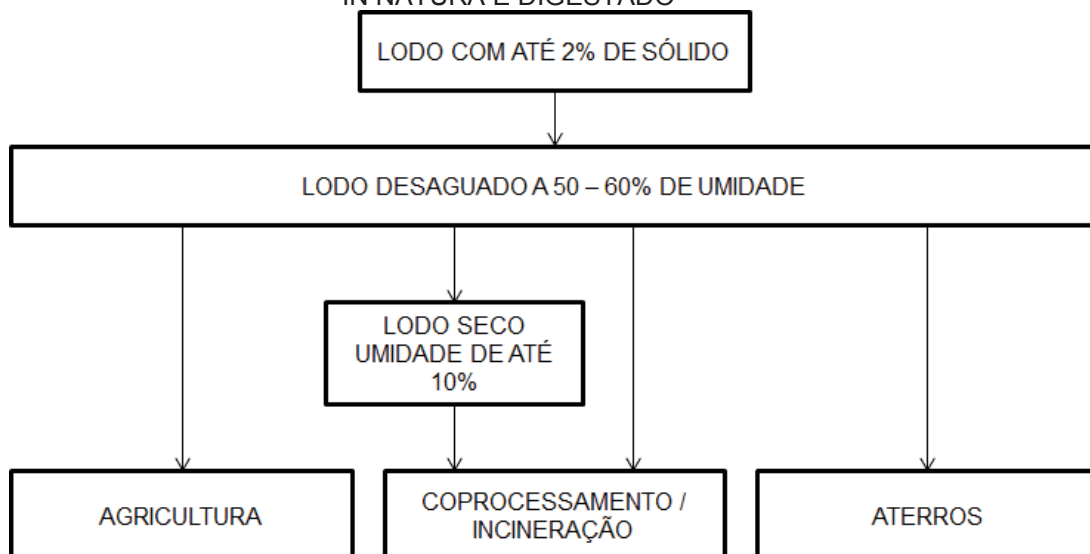
Um dos produtos da digestão do processo anaeróbio é o resíduo denominado lodo digestado ou digerido. (LEITE, 2015).

2.4.2 Panorama das destinações do lodo de esgoto no mundo e no Brasil

Atualmente, as opções de maior viabilidade para a destinação de lodos de esgoto, considerando aspectos ambientais, econômicos, técnico-operacionais, são: uso agrícola, disposição em aterro sanitário ou industrial, incineração, biomassa para geração de energia, coprocessamento, e mistura para uso como cimento. (BITTENCORT, 2017).

A (FIGURA 14) ilustra as possíveis destinações do lodo, considerando sua umidade como base comparativa para o tipo de destinação possível.

FIGURA 14- DESENHO ESQUEMÁTICO DAS POSSÍVEIS DESTINAÇÕES DO LODO DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADO



FONTE: Adaptado de HEILDELBURGCEMENT (2014).

Por suas características, o lodo de esgoto é um tipo de resíduo cuja primeira destinação, aparentemente mais fácil e viável é o aterro. Porém, se corretamente desaguado, ou seja, se reduzida sua alta umidade, o destino final pode representar uma mudança de paradigma importante, pois poderá ser utilizado como fonte alternativa de energia. (ROSA, 2016).

A destinação dos lodos para uso na agricultura é possível, principalmente pela composição química desses lodos, que contém compostos como nitrogênio e fósforo, responsáveis em partes pelo crescimento da planta. Todavia, devido aos patógenos, microrganismos presentes bem como possibilidade de metais pesados, não é uma técnica totalmente recomendada. Em alguns estados da Alemanha, por exemplo, essa técnica não é mais permitida. (FISCHER, 2017; FITYLI, 2006).

O uso de destinações mais adequadas para o lodo de esgoto, com reaproveitamento energético por meio de processos térmicos, tem sido amplamente utilizado no mundo, principalmente em países da comunidade europeia, cuja geração de lodos de esgoto será superior a 13 milhões de toneladas secas até 2020. A estimativa é que o cenário de reaproveitamento energético duplique nos próximos anos, passando a representar até 37% da destinação desse resíduo. (KELESSIDIS & STASINAKIS, 2012).

A Espanha, por exemplo, instituiu no ano de 2007 o plano nacional de lodo de esgoto, seguindo as diretrizes Directiva 91/271/CEE [7], estabelecendo como alvo a recuperação de 80% da lama de esgoto e a redução de no máximo 20% de envio desse lodo para aterros. A partir disso, tratativas como uso como fertilizantes agrícolas e digestão anaeróbia para geração de biogás, foram consideradas para esse fim. (RIVERO, 2013).

A Alemanha pratica a incineração das lamas de esgoto, bem como sua utilização em fornos de clínquer para recuperação energética. (HERZEL, 2015).

Por sua vez, a China continental, segundo dados de 2012, dispõe em aterros 31% do lodo de esgoto gerado, sendo que 44,8% é utilizado em áreas agrícolas e cerca de 10,5% é encaminhado para outro tipo de tratamento. Os 13,7% restante são descarregados e dispostos sem qualquer tratamento. (LI, 2013).

Comparando com as outras soluções, o coprocessamento de lodos de esgoto em fornos de cimento foi aceito e desenvolvido como uma solução para países como

o Japão e da comunidade europeia, pelas grandes vantagens que esse processo representa. (LI, 2013).

No Brasil, o descarte deste lodo, em sua maioria ainda é realizado em aterros sanitários (Castro et al., 2015), o que intensifica o problema com a destinação de resíduos em desconformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que preconiza o reaproveitamento de resíduos e utilização de melhores tecnologias de destinação e tratamento. Sendo assim, o uso de aterros não representa a melhor solução para a destinação dos lodos de esgoto gerados. Outro fato, é que esta mesma lei proibirá nos próximos anos essa forma de destinação ficando implícita a busca por alternativas viáveis de destinação no Brasil. (ALMEIDA, 2017; MORETTI, 2015, PNRS, 2010).

Um dos usos mais difundidos no Brasil, apesar de percentualmente baixo, é o aproveitamento desses lodos em áreas agrícolas. Porém, atualmente o uso desta tecnologia é bastante restrita pois somente os estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Distrito Federal e Espírito Santo a utilizam. Principalmente devido ao fato dos lodos de esgoto apresentarem contaminação elevada por patógenos e outros microrganismos e, a falta de tratamento adequado a esses lodos torna esse tipo de uso inviável atualmente em outros estados. (BITTENCOURT, 2016).

2.4.2.1 Geração e Tratamento de Lodos de Esgoto no Estado do Paraná

A Companhia de Saneamento do Estado do Paraná (SANEPAR) possui um índice de cobertura de coleta e tratamento de esgoto em torno de 69,1%, sendo que deste percentual coletado, 100% é tratado. São 234 Estações de Tratamento de Esgoto (ETES) distribuídas em todas as regiões do Paraná. (SANEPAR, 2018). Em 2012, tratou cerca de 295 milhões m³ de esgoto. (SANEPAR, 2012).

A estação de tratamento de esgoto ETE Belém, por exemplo, que pertence à bacia do Alto Iguaçu e é a maior estação de tratamento da região de Curitiba, é responsável pelo tratamento do esgoto das bacias do Rio Belém, em Curitiba e parte da bacia do Rio Ressaca, em São José dos Pinhais, em 2015, gerou em torno de 500 m³ de lodo por dia. (CS, 2017). Como a operação dessa ETE é realizada por um sistema de tratamento de lodos ativados com aeração prolongada, a geração de lodos de esgoto é significativa e, portanto, representa um grande desafio para sua destinação. (CS, 2017).

O Paraná é um dos estados que utiliza os lodos de esgoto para uso agrícola e é importante para municípios cuja disposição final em aterros é economicamente inviável. Entretanto, com o aumento na geração dos lodos, principalmente na região metropolitana de Curitiba, a disposição final em aterros vem aumentando gradativamente tornando a busca por estudos que procurem seguir as premissas da política nacional de resíduos sólidos, um fato importante. (BITTENCOURT, 2016).

2.4.3 Potencial energético de lodos de esgoto in natura e digestados

Para ampliar o potencial energético dos lodos de esgoto, tanto in natura quanto digestados, eles necessariamente precisam passar por processos de retirada de água, e /ou por processo térmico de secagem. O processo de secagem pode ser considerado um processo simples, em que se adiciona calor a um sistema com o objetivo de evaporar a água. Após esse processo, o lodo seco pode ser aplicado para a destinação final do lodo, como incineração ou coprocessamento pela substituição do combustível convencional, como o carvão por exemplo. (CIESLIK, 2014).

O lodo de esgoto in natura com até 25% de umidade possui um poder calorífico médio em torno de 2.800 kcal/kg, bem menor que os combustíveis convencionais como coque de petróleo e carvão mineral. Entretanto, se comparado a cavaco de madeira por exemplo, ou outros combustíveis alternativos esse valor pode ser considerado adequado para substituição térmica. (SAMOLADA, 2013).

O lodo de esgoto digestado, pode sofrer reduções de até 20% no poder calorífico disponível se comparado ao lodo in natura, parte pelo carbono elementar presente formar metano no processo de biodigestão. (FISCHER, 2017). Fato observado na comparação elementar de ambos os lodos, conforme (TABELA 3).

TABELA 3 - COMPARAÇÃO ELEMENTAR ENTRE O LODO IN NATURA E O LODO DIGESTADO

	LODO DE ESGOTO IN NATURA	LODO DE ESGOTO DIGESTADO
% C	53	49
% H	6,7	7,7
% O	33	33
% N	6,3	6,2
% S	1	2,5

FONTE: Adaptado de MANARA E ZABANIOTOU (2012).

Percebe-se uma redução no percentual de carbono disponível, entre o lodo in natura e o digestado, certamente pelo uso deste carbono na geração dos compostos do biogás.

De acordo com STASTA et al. (2006), houve crescimento do tratamento térmico de lodo de ETE nos países europeus. Avalia-se que o estudo e a escolha de alternativas mais vantajosas do ponto de vista do gerenciamento de lodo podem garantir a autossuficiência energética de uma ETE, além da possibilidade de utilização do excesso de energia elétrica para ser introduzida na rede de distribuição, a depender de estudos sobre a qualidade da energia gerada (HOUDKOVÁ et al., 2008; FONTS et al., 2009)

Um estudo realizado no Chipre em 2008, conforme citado por ZABANIOTOU E THEOFILOU (2008), utilizou em fornos de clínquer, como combustível alternativo, uma mistura de lamas de lodos de esgoto in natura com coque de petróleo. O objetivo do estudo era encontrar formas de diminuir a dependência de combustíveis convencionais nesses fornos em cimenteiras e reduzir poluentes emitidos nesse processo de queima tradicional. Os resultados, entre outros, mostraram reduções de até 2% nas emissões e uma redução no consumo de coque puro na ordem de 8,00 euros/hora e uma melhor queima do coque, provocada pela alta volatilidade das lamas.

Outro estudo, realizado em Itabira-MG, analisou o potencial de aproveitamento energético do lodo digestado, gerado após processo de biodigestão em uma unidade de tratamento. Os resultados mostraram que o lodo, se devidamente secado a umidade de até 10% pode apresentar um poder calorífico adequado a substituições térmicas, inclusive em caldeiras. (ROSA, 2016).

2.4.4 Tecnologias para redução da umidade nos lodos de esgoto

Uma das premissas para adequar o consumo de lodos de esgoto, como substitutos de energia é adequar a umidade elevada, uma de suas principais características, pré-processando esses lodos antes de serem usados em um forno de cimento (WBCSD, 2002). O intuito é de que, ao reduzir sua umidade, possam apresentar um poder calorífico adequado e mais próximo dos combustíveis convencionais substituindo uma quantidade mais significativa de combustíveis fósseis. (HASANBEIJI, 2013).

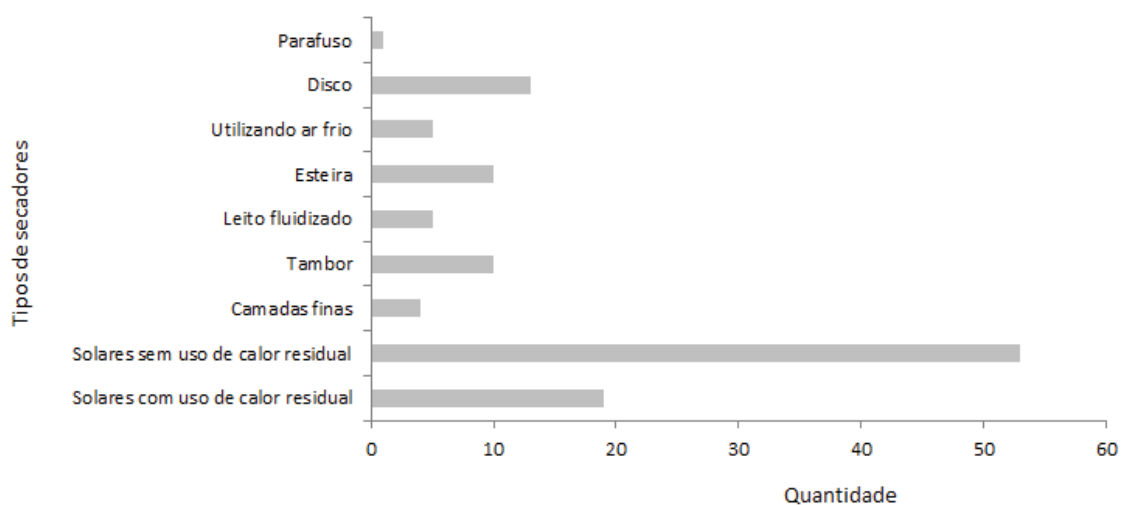
As tecnologias disponíveis para reduzir a quantidade de água presente no lodo de esgoto, tanto in natura como o lodo de esgoto digestado, são basicamente a retirada de água por prensamento em esteiras desagadoras que prensam o material, centrífugas, filtros prensa, entre outros que podem diminuir a quantidade de água presente entre 50 a 60%. (HEIDELBERGCEMENTE, 2014; LI, 2013; COPASA, 2011).

A secagem térmica de lodos reduz a umidade dos lodos até uma concentração que não é alcançada por métodos convencionais de desaguamento, desta forma, se a finalidade é obter um lodo com umidade inferior a 25%, o processo de secagem pode ser o mais indicado. A secagem pode ser realizada por diferentes processos, como por exemplo, leitos de secagem, câmaras de secagem, secadores rotativos ou fixos, e até mesmo estufas operadas a energia solar, as chamadas *green house*. (FISCHER, 2017; HEIDELBERGCEMENTE, 2014).

Tanto as câmaras de secagem como os secadores rotativos e fixos, necessitam de energia térmica para manter as temperaturas adequadas para o processo de evaporação da água. Os combustíveis utilizados podem ser de origem fóssil, como carvão e gás natural por exemplo, o próprio biogás ou energia elétrica. (FISCHER, 2017; COPASA, 2011).

O (GRÁFICO 2) ilustra os tipos e o número de secadores de lodos utilizados na Alemanha, no ano de 2012.

GRÁFICO 2 - TIPOS DE SECADORES DE LODO UTILIZADOS NA ALEMANHA EM 2012



FONTE: Adaptado de WIECHMANN (2013).

A secagem de lodos por meio de energia solar é bastante utilizada, respondendo por cerca de 60% do uso na Alemanha.

A secagem de lodos em estufas a energia solar é uma tecnologia que difere da compostagem por inserir ventilação forçada, reduzindo odores por não permitir a degradação do lodo e é bastante difundida no país, inclusive em pequenos geradores rurais de biogás, que secam o lodo digerido gerado, sendo um dos destinos o coprocessamento em fábricas de cimento. (FISCHER, 2017; ENFIL, 2017).

A (FIGURA 15) mostra uma estufa operada a luz solar na Alemanha, que reduz de 80% para até 30% a umidade do lodo recebido por meio da evaporação da água. O processo consiste em evaporar a água por meio do calor irradiado pelo sol e pela ventilação recebida de forma externa. Enquanto é secado, um dispositivo revolvente se encarrega de granular o lodo, por meio do uso de um conjunto de duas pás rotativas, cujos objetivos principais são misturar o lodo e facilitar o transporte. (HUBER, 2018).

FIGURA 15- EXEMPLO DE GREEN HOUSE + FLOOR HEATING, ESTUFA OPERADA POR ENERGIA SOLAR NA ALEMANHA



FONTE: ENFIL (2017).

A tecnologia de secagem de lodos em estufas a energia solar pode gerar dúvidas sobre sua operação nas estações do ano de baixa incidência solar. Porém, as tecnologias disponíveis atualmente dispõem de mecanismos, chamados de *floor heating*, que mantém o leito aquecido e garantem a secagem do lodo por meio do uso de bombas térmicas, porém em unidades menores, conforme já comentado, podem

somente armazenar os lodos ou utilizar outros resíduos mais secos durante esse período. (HUBER, 2018; FISCHER, 2017).

A cimenteira chinesa da companhia Huaxin, utiliza o próprio gás quente gerado pelo forno de clínquer para secar o lodo já pré-prensado. O lodo é desidratado a umidades menores que 10% e utilizado nos fornos. (LI, 2013).

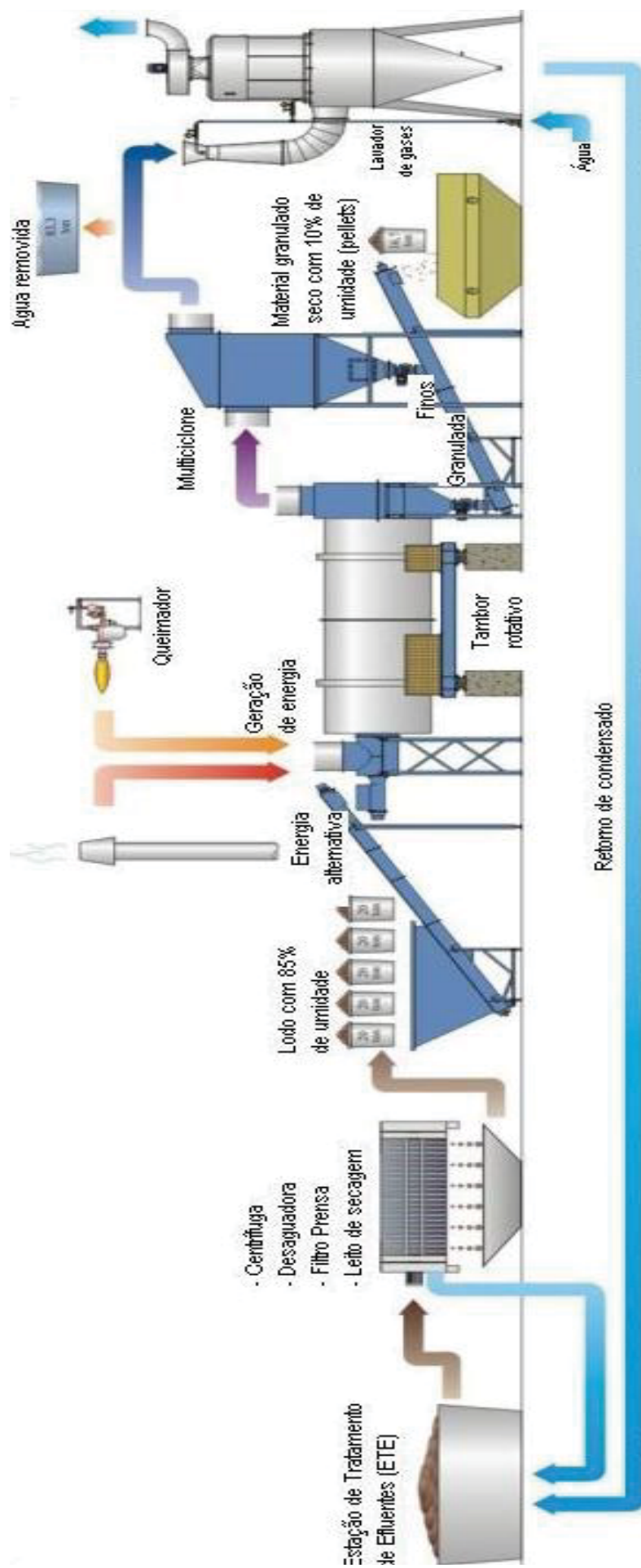
Já a cimenteira americana, na cidade de Union Bridge, pertencente ao grupo HeidelbergCement, faz uso dos gases quentes do resfriador de clínquer para secar os lodos recebidos. (HEIDELBERGCEMENT, 2014).

No Brasil, existem iniciativas interessantes, como o projeto pioneiro na América Latina da empresa de saneamento da cidade de Montes Claros, MG. A empresa utiliza um secador rotativo para secar o lodo digestado gerado pelo processo de biodigestão do lodo de esgoto do município. O próprio biogás produzido na planta gera a energia necessária para manter o secador aquecido a 350° C. O processo de secagem, consiste em passar o lodo digestado com cerca de 85% de umidade em uma centrífuga, com o objetivo de reduzir esse teor, e então o lodo segue para o secador permanecendo lá por cerca de 30 min. O produto final é o lodo digestado seco a até 10% de umidade, esterilizado e convertido em pellets ou material granulado seco. (COPASA, 2011).

O processo passa por etapas importantes, desde a geração do lodo, redução da umidade que pode ser feita de forma conjunta ou separada por meio do uso de centrífuga, desaguadora, filtro prensa e lodo de secagem, sua alimentação no secador rotativo e a alimentação de energia gerada pela queima do biogás produzido na própria planta, até a granulação do lodo seco.

Segue desenho esquemático do processo de secagem de lodos digestados secos na cidade de Montes Claros, MG (FIGURA 16).

FIGURA 16- FLUXOGRAMA DO PROCESSO GERADOR DE LODO DIGESTADO SECO



FONTE: COPASA (2011).

2.4.5 Coprocessamento de lodos de esgoto in natura e digestados – melhores práticas

O coprocessamento de lodos de esgoto é uma prática que vem sendo adotada em muitos países. No Japão, o volume de lodos de esgoto coprocessados em fornos de cimento foi acentuadamente aumentado a partir de 2010, e representa a principal solução para a eliminação de lodos de esgoto gerados neste país. (LI, 2013).

O Japão faz uso de lodos de esgoto como combustível alternativo em fornos de cimento já há algum tempo, como resposta a estratégias deste país, elaboradas com o intuito de minimizar os problemas de áreas reduzidas para operação de aterros e consequentemente os custos elevados para este tipo de disposição final. Além disso, existem políticas que apoiam pesquisas no setor de reutilização de resíduos para fins mais sustentáveis inclusive com incentivos financeiros. (HOTTA e AOKI-SUZUKI, 2010).

Outros países desenvolvidos, como os Estados Unidos e países da União Europeia, adotaram o coprocessamento como uma das formas de gestão dos lodos de esgoto gerados, tanto digestados como os in natura. Este tipo de destinação, tem crescido na China, sendo adotado como destino final para os lodos gerados em cidades chinesas como Pequim, Guangzhou e Hangzhou. (CAO, 2016).

A cimenteira Schwenck, na cidade de Allmendinger na Alemanha, é um exemplo do uso de lodos de esgoto no coprocessamento, pois utiliza tanto lodos de esgoto in natura, alimentados no forno por bombas pneumáticas, como lodos digestados secos a até 23% de umidade, sendo adicionados ou na mistura de resíduos que alimentam o maçarico principal ou na caixa de fumaça. (SCHWENCK, 2017).

O grupo cimenteiro alemão Heidelberg, consome lodos de esgoto digeridos e in natura em suas plantas, em países como Turquia, China e nas fábricas da Europa e América do Norte. Consideram os lodos de esgoto como biomassa por consequente serem consideradas mais limpas para gases de efeito estufa. Usam tanto lodos desaguados com umidade de até 50% como lodos secos de até 20% de umidade, ou menor dependendo do ponto de alimentação. Os lodos secos granulados finos são alimentados no maçarico principal que compõe a chama, os granulados grossos alimentam a caixa de fumaça ou o pré calcinador e há ainda os lodos bombeáveis,

com maior umidade que também alimentam a caixa de fumaça ou o pre-calcinador. (HEIDELBERGCEMENT, 2014).

Uma fábrica de cimento na europa consome cerca de 65.000 t/ano de lodos de esgoto consumidos de duas formas distintas: Na forma granulada por extração de silo por meio de parafuso e injeção na caixa de fumaça, e na forma pastosa bombeável pela injeção por meio de bomba de concreto também na caixa de fumaça. A (FIGURA 17) mostra o descarregamento do lodo nesta fábrica.

FIGURA 17- DESCARREGAMENTO DE LODO PARA CONSUMO NOS FORNOS DE UMA FÁBRICA NA EUROPA



FONTE: HEIDELBERGCEMENT (2014).

Uma fábrica do grupo LafargeHolcim na Alemanha, consome lodos digeridos granulados. A secagem desses materiais vem diretamente de estufas a base de energia solar. O material depois de seco é carregado e transportado até a cimenteira por caminhão basculante até os silos que alimentam o maçarico do forno. (FISCHER, 2017).

A fábrica de cimento da companhia Huaxin na China, coprocessa lodos de esgoto em seus fornos desde 2006, utilizando técnicas de bombeamento para lodos de umidade em torno 50%, e lodos secos. Este último a partir de 2010, com o incremento de tecnologias de secagem. Contudo, o estudo nesta cimenteira aponta que para que o processo tenha viabilidade econômica, é necessário verificar as

questões de logística dos lodos, pois grandes distâncias podem inviabilizar o processo. (LI, 2013).

O uso de lamas de esgoto na China tem se tornado tão popular, que o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley desenvolveu uma ferramenta chamada SUCCES, desenvolvida para uso na China, mas que vem sendo adotada por outros países também. A ferramenta analisa os resultados econômicos, sociais e ambientais no uso de lodos de esgoto em fornos de cimento por meio de planilhas de cálculo. Como a relação entre os custos e benefícios do coprocessamento dos lodos de esgoto nos fornos de clínquer está ligada a fatores ambientais e econômicos, é importante mensurá-los com o teor de energia disponível nesses lodos. Pois, logicamente que quanto maior o poder calorífico, menor valor de aquecimento e, portanto, maiores os ganhos. Outros fatores considerados são também a distância de transporte entre a estação de tratamento de lodos e a planta de cimento proposta. (CHINA Energy Group, 2018).

No Brasil, o coprocessamento de lodos de esgoto é na ordem de 0,2%, considerando a matriz de distribuição dos destinos de lodo no país. (CSI, 2014).

Estudos mostram também que as características do cimento não são alteradas com o uso dos lodos como combustíveis alternativos. HAIBING (2015), fez uma comparação, por meio de experimentos, de clínquer com e sem adição de lodos de esgoto e os resultados mostraram que o uso desses lodos não interfere na qualidade do produto.

Os ganhos ambientais com o uso de lodos de esgoto devem ser considerados, pois contribuem para a redução das emissões de gases do efeito de estufa, como o CO₂, por exemplo. E um dos ganhos no uso de lodos de esgoto no coprocessamento, está justamente na redução das emissões atmosféricas. O nitrogênio da amônia, por exemplo, presente nos lodos, pode reagir com NO_x formado a partir de sinterização e, obviamente, reduzir a emissão de NO_x no forno. (CAO, 2016; HAIBING, 2015; LI, 2013).

Outra vantagem de se coprocessar lamas é o rápido resfriamento do combustível convencional, quando na adição dos lodos de esgoto, proporcionando uma redução na emissão de dioxinas e furanos. (ZABANIOTOU E TEOFILOU, 2008).

2.5 COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS NA ALEMANHA

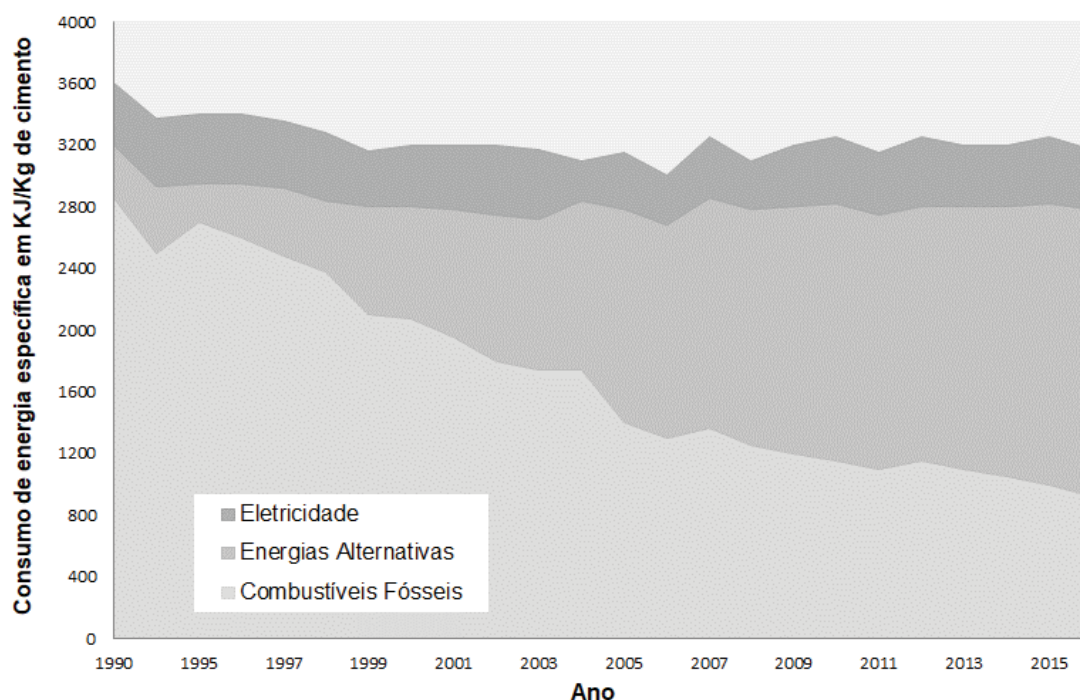
A Alemanha possui atualmente 22 grupos cimenteiros, com 55 plantas e 52 fornos de clínquer no total distribuídos em vários grupos cimenteiros. As cimenteiras alemãs estão principalmente produzindo para o mercado interno, são consideradas altamente eficientes em energia e automação e usam um alto nível de combustíveis alternativos e matérias-primas alternativas. (CEMEMBUREAU, 2016).

Desde meados da década de 1970, os combustíveis tradicionais utilizados nas fábricas de cimento alemãs são combustíveis de origem fóssil, principalmente carvão e linite e, óleo de combustível pesado em menor escala de uso. Aos poucos, uma parcela significativa de carvão foi substituída pelo coque de petróleo, petcoke. Atualmente, o uso de combustíveis tradicionais está em crescente queda, substituídos por combustíveis alternativos, biomassas e resíduos que contabilizam atualmente mais de 65% na matriz energética da indústria de cimento alemã, chegando a um nível que ultrapassa o consumo dos combustíveis tradicionais (VDZ, 2016).

A inversão no consumo de combustíveis, teve algumas causas conhecidas. Uma delas é que em meados de 1965, a Alemanha estava com seus aterros lotados, com pouco espaço para recebimento do volume de resíduos gerado e desta forma, surgiu-se a necessidade de encontrar novas tecnologias de destinação, iniciando os estudos para consumo de resíduos como fontes de energia térmica. (EnWB, 2017). Outro forte fator foi a união das duas Alemanhas, no início da década de 1990, que alavancou um processo de modernização dos estados recém-formados. (VDZ, 2016). Em 2005, a Alemanha aboliu a deposição de aterros de matéria biodegradável não tratada e de resíduos sólidos municipais contendo orgânicos, contribuindo para o melhor aproveitamento energético possível desses materiais, e o coprocessamento está entre uma das tecnologias escolhidas para a recuperação energética desses resíduos. (FISCHER, 2017)

O (GRÁFICO 3) ilustra o consumo de combustíveis em cimenteiras na Alemanha nos últimos 20 anos, frente aos fatores de alavancagem discutidos:

GRÁFICO 3 - CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NAS CIMENTEIRAS ALEMÃS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS



FONTE: Adaptado de VDZ (2016).

O (GRÁFICO 3) ilustra o crescente aumento do uso de combustíveis alternativos, faixa cinza intituladas energias alternativas e o decrescente consumo de combustíveis fósseis mostrado na faixa verde clara, sendo que o consumo de energia elétrica se manteve praticamente estável. Como resultado, cerca de somente 35% da matriz energética de combustíveis das fábricas de cimento alemãs são de combustíveis fósseis. Vale ressaltar que a alta eficiência energética do processo de produção de cimento não foi afetada por esta substituição. (VDZ, 2016).

Esse alto índice de substituição térmica, acima de 65%, tornou a Alemanha um país de alta maturidade no coprocessamento de resíduos, quando comparada aos demais países pertencentes à união europeia. (ECOFYZ, 2016).

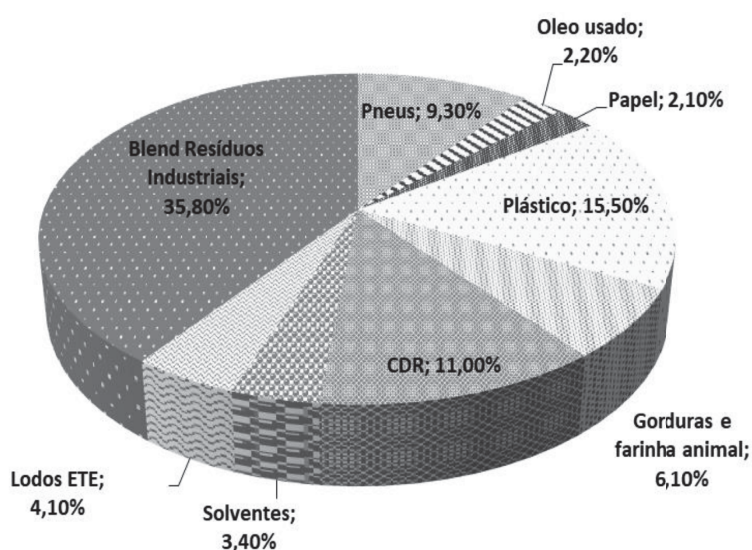
O desafio das cimenteiras alemãs é de atingir até 2010 cerca de 80% de substituição térmica. Algumas fábricas alemãs possuem atualmente, substituições energéticas acima de 90%, como as fábricas da cimenteira Schwenck e da Heidelberg por exemplo. (SCHWENCK, 2017; VDZ, 2016; HEILDEBERGCEMENT, 2014).

Para se ter uma ideia comparativa, o desafio da união europeia de consumo de alternativos a proposta é de se chegar a uma substituição em 2050 de 60% dos combustíveis alternativos nos fornos de clínquer. (CEMBUREAU, 2015).

O elevado percentual de substituição veio do esforço alemão na modernização de suas indústrias cimenteiras, com fortes investimentos a longo prazo em licenciamentos ambientais, instalações e tecnologias que garantem maior consumo de resíduos, locais específicos para adequar os resíduos de forma que cheguem o mais homogêneo possível. (FISCHER, 2017; JANZEN, 2013).

A tipologia de resíduos utilizados no coprocessamento na Alemanha também é bastante variada, conforme indica o (GRÁFICO 4):

GRÁFICO 4 - TIPOLOGIA DE RESÍDUOS COPROCESSADOS NA ALEMANHA EM 2016



FONTE: O autor, adaptado de FISCHER (2017).

Percebe-se grande variedade de resíduos coprocessados, com destaque aos blends de resíduos industriais e ao CDR (combustível derivado de resíduos sólidos.) com um consumo bem distribuído, mostrando baixa dependência de um único tipo de material.

O consumo do resíduo lodo de esgoto também é considerável, representando 4% de substituição em massa coprocessados no ano de 2016.

O coprocessamento também é visto na Alemanha, pelos órgãos ambientais e governo, como uma forma sustentável e essencial na redução das emissões atmosféricas, principalmente reduções de gases de efeito estufa. (ECOFYZ, 2016).

O uso de resíduos e alternativos, biomassas por exemplo, levou a uma redução das emissões de 5,4 milhões de toneladas de CO₂ no ano de 2012. Considerando o desafio para o ano de 2050, 80% de substituição energética, espera-

se alcançar um adicional de 1,6 milhões de toneladas de redução de emissões de CO₂ /ano. (VDZ, 2016).

As emissões atmosféricas das operações de cimento na Alemanha, são sujeitas às disposições do ato federal da proteção ambiental da poluição, concomitantemente aos tipos de combustíveis utilizados, isto é, há diferentes, limites de emissões conforme o combustível utilizado. Por exemplo, ao utilizar somente combustíveis tradicionais, como carvão, os regulamentos da lei do ar limpo serão os utilizados. Entretanto, se forem utilizados resíduos como combustíveis alternativos, a norma regulamentadora será a disposta no regulamento alemão sobre a incineração de resíduos, aplicado adicionalmente ao regulamento de emissões para combustíveis tradicionais. Vale ressaltar também que somente empresas credenciadas podem realizar essas medições (VDZ, 2016).

2.5.1 Legislação para coprocessamento na Alemanha

No início da década de 70, a Alemanha desenvolveu um programa de proteção ambiental, resultando em numerosas leis e regulamentos administrativos para a proteção do meio ambiente. (HAUSARBEITEN, 2005).

Em 1975, foi criada a Directiva 75/442/CEE do Conselho, de 15 de julho de 1975, relativa aos resíduos e suas destinações. O princípio dessa legislação era de incentivar a recuperação dos resíduos e a utilização dos materiais de recuperação, a fim de preservar os recursos naturais. Trata também das destinações, colocando reuso e reciclagem como objetos principais na hierarquia de destinação de resíduos e estabeleceu ainda, padrões de entrega de relatórios dos países membros a cada 3 anos, sobre as formas de destinação escolhidas. (CEE, 1975).

Em 1999 foi aprovada a Diretiva Europeia 1999/31/CE (UNIÃO EUROPEIA, 1999), legislação que define primeiramente as restrições na disposição de materiais de origem orgânica em aterros sanitários, fato que determinou a busca por novas tecnologias de destinação para os países membros. (GOMES, 2012).

No ano 2.000, a união europeia aprovou a Diretiva 2000/76/EC, limitando as emissões referentes a queima em incineração de resíduos.

A Alemanha está entre os primeiros países da união Europeia a impor a diretiva relativa ao aterro sanitário que proibiu a partir do ano de 2005 o armazenamento de resíduos biodegradáveis em aterros. (BILITEWSKI, 2014). Possui

políticas específicas de resíduos que procuram inicialmente evitar a geração dos resíduos e priorizar sua valorização para que o descarte seja a última opção na hierarquia de resíduos. É o que previa a “Lei de Minimização e Eliminação de Resíduos” (ALEMANHA; 1986), que trouxe consigo a regulamentação do uso dos vasilhames e embalagens (1991), óleos usados (1987) e solventes (1989). (MACHADO, 2014).

Desta forma, outras tecnologias foram desenvolvidas como a incineração e o coprocessamento em fornos de cimento, buscando opções para destinação ambientalmente adequada e sustentável dessa tipologia de resíduos. (FISCHER, 2017).

A “Lei de Economia de Ciclo Integral e dos Resíduos” – *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz* (ALEMANHA; 1994) é a lei federal central da legislação alemã sobre resíduos, que define regras desde a geração de resíduos até sua destinação final. Cita por exemplo, que a geração de resíduos deve primeiramente ser evitada, buscando então a reciclagem ou a produção de energia por meio da substituindo do combustível principal pelo resíduo. Não sendo possível a recuperação, os resíduos devem ser excluídos e dispostos de forma a não causar prejuízos ao interesse público, tanto à saúde humana como aos animais e plantas, assim como ao ambiente, em aterros previamente autorizados. Essa legislação é uma das que regulamenta tanto a incineração como o coprocessamento.

A Alemanha possui também leis complementares, que de alguma forma são aplicadas ao coprocessamento, cita-se: *Wasserhaushaltsgesetz* (WHG; 1957) lei de responsabilidade hídrica, *Bundes-Bodenschutzgesetz* (BBODSCHG; 1998), lei de proteção do solo, *Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung* (UVGP; 1990) lei de avaliação de impacto ambiental, *Bundesnaturschutzgesetz* (BNATSCHG; 1976) lei de proteção à natureza, e *Bundesimmissionsschutzgesetz* (BLMSCHG; 1974) legislação que regulamenta a lei de controle da poluição,

Além das legislações, o setor cimenteiro da comunidade europeia dispõe ainda de outras normas e sugestões de associações ou grupos que tratam de assuntos relacionados a cimento e resíduos. Existe a VDZ – *Verein Deutscher Zementwerke*, uma Associação das cimenteiras alemãs com estudos e publicações destinadas a atender esse mercado. Cita-se também a associação da comunidade europeia EURITS - *European Union for Responsible Incineration and Treatment of*

Special Waste, (União Europeia para Tratamento e Incineração Responsável de Resíduos Especiais), que publicou, por exemplo, possíveis limites para resíduos utilizados no coprocessamento.

Vale ressaltar também que o setor privado alemão chamado de RAL (Instituto alemão de garantia de qualidade e *Certification* – RAL) também criou regras para atendimento da qualidade dos resíduos blendados, ou misturados, entregues nos receptores. Essas instruções cabem aos produtores de resíduos blendados, ou seja, empresas especializadas em receber resíduos brutos, gerados por indústrias por exemplo, responsáveis por adequá-los as necessidades das fábricas consumidoras. Dos critérios estabelecidos pela RAL, destaca-se a RAL-GZ724, que é uma espécie de rotulagem de resíduos, garantindo a qualidade dos mesmos frente aos limites impostos ao recebimento de metais pesados. Os critérios de qualidade são baseados em dois tipos diferentes de resíduos: SRF originários de resíduos de produção e SRF originários de resíduos sólidos municipais. Regulamenta também aspectos referentes a amostragem do resíduo, preparação de amostras e métodos de análises. Determina também procedimentos para realizar os processos de blendagem, concentrações e parâmetros para produção do combustível alternativo. (ROTTER, 2016).

Além das leis federais, alguns estados da Alemanha dispõem de leis próprias para coprocessamento e incineração de resíduos. O estado alemão de Nordrhein-Westfalen (NRW) possui um manual em que lista as práticas de coprocessamento, chamado de *Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen* (NRW, 2005). Neste manual, encontram-se também referências importantes sobre parâmetros e limites máximos permitidos para os resíduos. Esses limites são utilizados como base para emissão de licenças ambientais (NRW UMWELT, 2005).

O controle e o monitoramento na entrada do resíduo na planta cimenteira são feitos pela cimenteira e não pelo gerador do resíduo, facilitando o controle do processo, pois ao concentrar o controle ambiental na emissão e no licenciamento das fábricas, reduzem-se os riscos. No licenciamento, a fábrica recebe quais resíduos e parâmetros está apta a receber para coprocessar. (FISCHER, 2017; JANZEN, 2013).

O (QUADRO 4) ilustra uma comparação entre os parâmetros e limites estabelecidos para recebimento de resíduos, cujas análises deverão ser feitas na amostra bruta.

QUADRO 4 - LIMITES ESTABELECIDOS PELA LEGISLAÇÃO ALEMÃ, EUROPÉIA E NORMA DO SETOR CIMENTEIRO/RESÍDUOS

PARÂMETRO	UNIDADE	RAL - GZ724 ⁽¹⁾	LEITFADEN ⁽²⁾	EURITIS ⁽³⁾
Hg	mg/kg	0,6	1,2	-
Cd	mg/kg	4	9	2
Tl	mg/kg	1	2	2
As	mg/kg	5	13	-
Co	mg/kg	6	12	-
Ni	mg/g	80	100	70
Soma As, Se, Te, Cd, Sb	mg/kg	-	-	10
Soma V, Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Mn, Sn	mg/kg	-	-	200
Sb	mg/kg	50	120	-
V	mg/kg	10	25	-
Sn	mg/kg	30	70	-
Cr	mg/kg	125	250	-
Cu	mg/kg	350	700	-
Mn	mg/kg	80	500	-
Be	mg/kg	-	-	1
Cl	%	-	-	0,5
F	%	-	-	0,1
S	%	-	-	0,4
Br	%	-	-	1
Mo		-	-	20

(1) RAL - GZ724 – Norma do Setor Cimenteiro e de resíduos

(2) LEITFADEN – Legislação alemã do estado de Nordrhein-Westfalen (NRW) com manual próprio para as práticas de coprocessamento.

(3) EURITIS - - European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste, (União Europeia para Tratamento e Incineração de resíduos).

Fonte: Adaptado de RAL(2001); NRW UMWELT(2005); EURITIS(2005).

O (QUADRO 4) ilustra que os limites mostram diferenças importantes em ambas legislações e normas para os parâmetros tálio e mercúrio. O parâmetro cádmio difere nas três avaliações propostas, pois a RAL o limite representa o dobro do aceito pela LEITFADEN e pela EURITIS é ainda menor, metade do máximo permitido pela RAL com os limites, 4 ppm, 9 ppm e 2ppm respectivamente para RAL, LEITFADEN e EURITIS. Os halogênios cloro, bromo e flúor, são parâmetros controlados somente pela EURITIS, bem como enxofre e molibdênio. O parâmetro cromo tem limites distintos entre RAL, 125 ppm e na legislação LEITFADEN, 250 ppm. A soma de parâmetros, como dos metais pesados vanádio, cromo, cobre, níquel, chumbo, estrôncio e manganês, é indicada somente pela EURITIS.

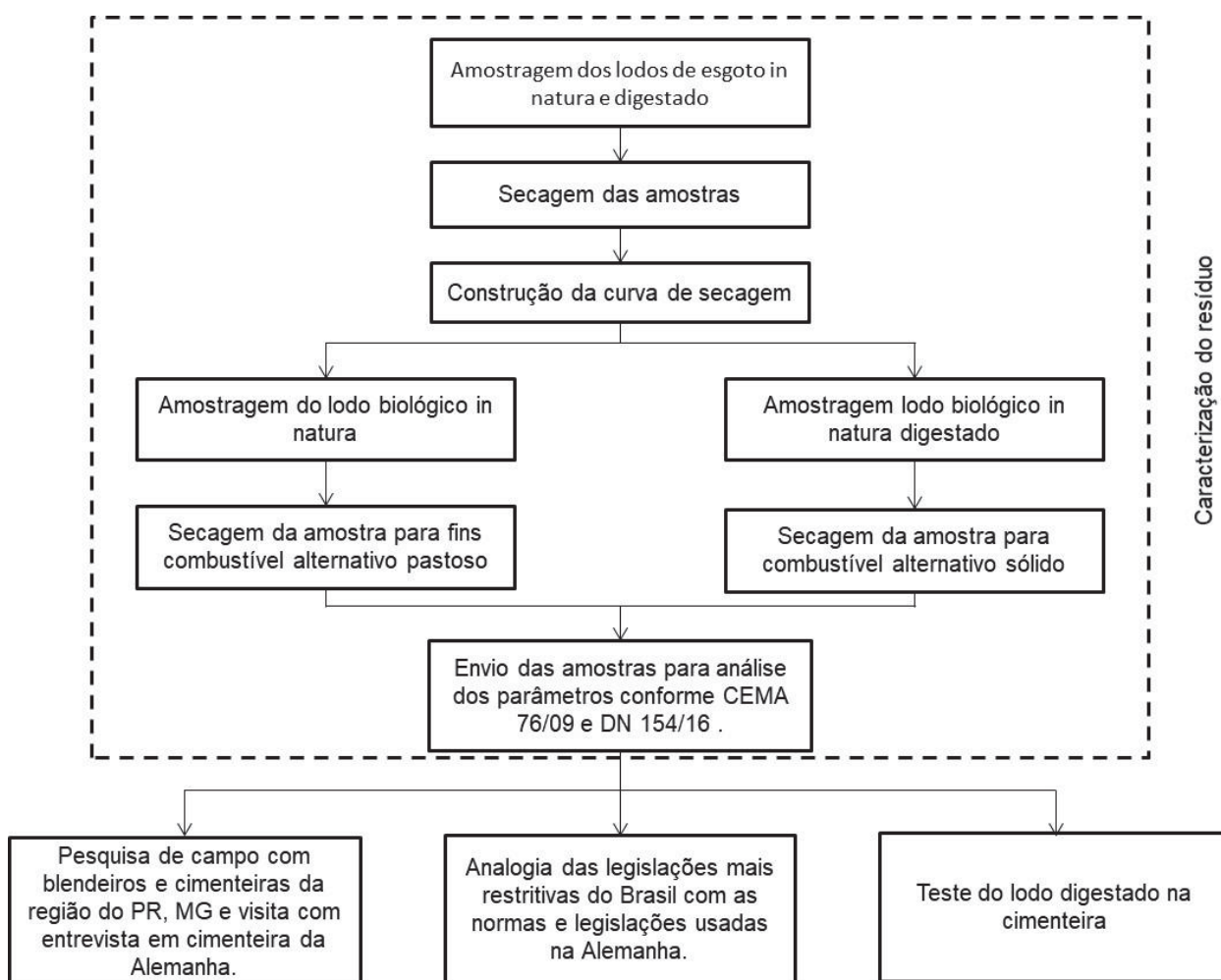
Rotter (2016) salienta que há ainda parâmetros e limites definidos pela própria cimenteira no recebimento dos resíduos em sua planta. Parâmetros como poder calorífico, tamanho de partícula, concentração de metais pesados como mercúrio, teores de halogênios como cloro total e enxofre podem ser alguns dos parâmetros considerados a serem atendidos de forma diferenciada a encontrada na legislação.

3 METODOLOGIA

A metodologia foi desenvolvida por meio de um estudo de caso, com experimentos realizados com amostras de lodo de esgoto in natura e lodo de esgoto digestados em empresa de biodigestão de lodos para geração de biogás, localizada em São José dos Pinhais – PR.

A metodologia seguiu o fluxograma definido na (FIGURA 18).

FIGURA 18 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA ADOTADA NO ESTUDO



FONTE: O autor (2018).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO IN NATURA E LODOS DE ESGOTO DIGESTADOS PARA FINS DE SUBSTITUTO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

3.1.1 Amostragem do lodo de esgoto in natura

As coletas de lodo de esgoto in natura, iniciaram-se no mês de abril do ano de 2017 e o término das coletas foi em novembro de 2017, com as coletas do lodo digestado. Foram coletadas no total, dez amostras com massas diferentes, destinadas a construir uma curva de secagem, por meio da relação umidade x tempo de secagem. Foram consideradas como suficientes, para a elaboração da curva, amostradas na caçamba de coleta do lodo, logo após o desaguador.

Por meio da curva de secagem, duas novas amostras foram coletadas e secadas, para obter-se amostras com umidades específicas para alimentar os fornos de clínquer de forma bombeável, pastoso, e na forma sólida no pré-calcinador, caixa de fumaça e/ou maçarico principal.

Os materiais utilizados foram: recipiente de alumínio, pá de alumínio, coletores para armazenamento das amostras de plásticos do tipo polietileno com tampa rosqueáveis, novos e limpos, equipamentos de proteção individual como máscara contra gases orgânicos, luvas, capacete, óculos de segurança e jaleco longo de algodão com mangas compridas.

A amostragem seguiu as instruções da NBR 10.007(ABNT, 2017), norma técnica que define as premissas para amostragem de resíduos sólidos e que prevê um plano de amostragem.O (QUADRO 5) apresenta os itens considerados relevantes na amostragem, conforme NBR 10.007.

QUADRO 5 - PRÉ-CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO PARA AMOSTRAGEM

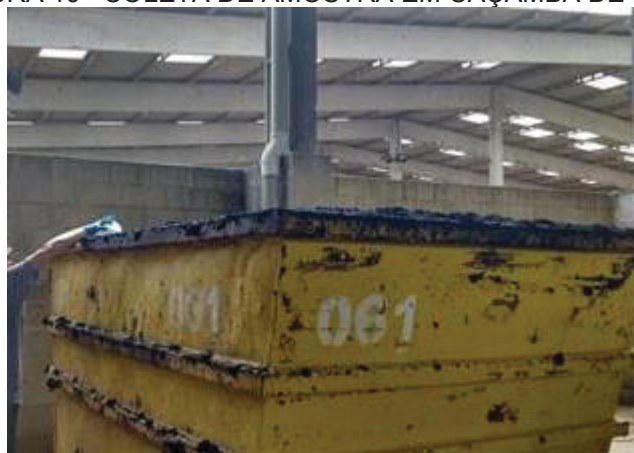
Item da pré-caracterização do resíduo	Resultado
Origem	Empresa de biogás e energia
Processo gerador	Lodo da prensa após desaguador
Forma de armazenamento	Caçamba aberta
Estado físico	Pastoso
Volume aproximado na caçamba	30 m ³
Temperatura	Ambiente, média de 25 ° C
Odor	Forte, característico de lodo de esgoto

FONTE: O autor (2018).

O amostrador utilizado foi definido conforme anexo A-3 da NBR 10.007 e o ponto de amostragem seguiu a recomendação do anexo A-4 da NBR 10.007.

As amostras foram coletadas na caçamba após a saída do desaguador conforme ilustra a (FIGURA 19).

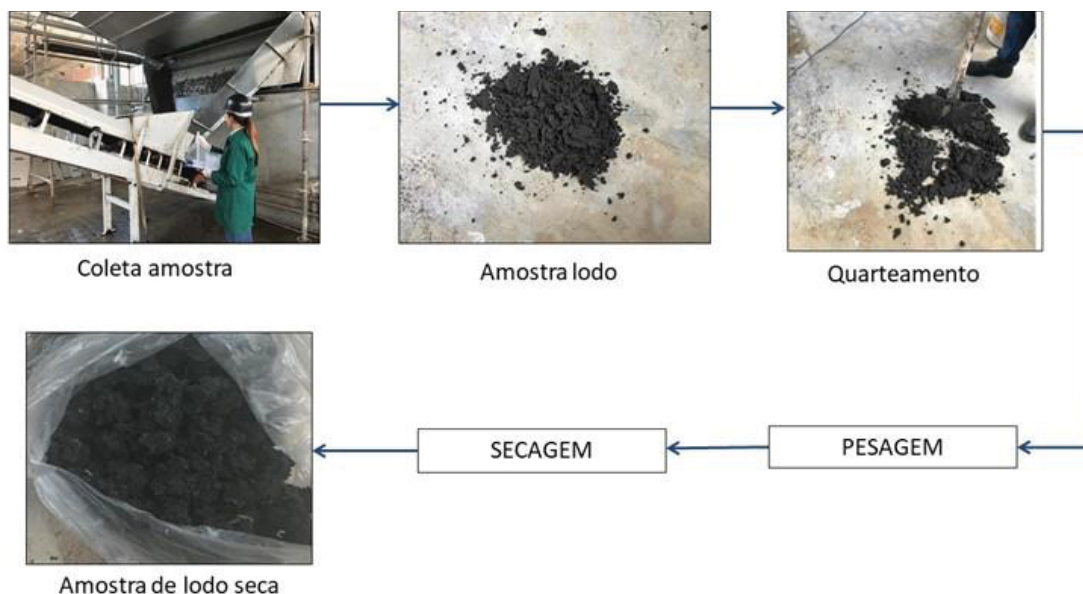
FIGURA 19– COLETA DE AMOSTRA EM CAÇAMBA DE LODO



FONTE: O autor (2017).

Todas as dez amostras foram coletadas em triplicata, identificadas com o dia, horário e responsável pela coleta. A (FIGURA 20) ilustra o processo do lodo após passagem pela prensa desaguadora, seu quarteamento após amostra coletada nas caçambas de recebimento do deságue, pesagem, secagem e amostra final seca.

FIGURA 20- PROCESSO DE AMOSTRAGEM E QUARTEAMENTO DO LODO



FONTE: O Autor (2018).

3.1.2 Secagem das amostras

As amostras coletadas, com o intuito de reduzir a umidade, passaram por um processo de secagem em estufa. Os materiais utilizados neste processo foram:

- Estufa operando a 105° C - Fabricante FANEM, modelo 315 - Cuja calibração foi realizada pela empresa MAJ LAB.A.
- Recipientes de alumínio, pinça, dessecador e cronômetro digital;
- Balança digital calibrada, fabricante OHAUS, CS SERIES, modelo CS 2000, capacidade de 2000g x 1 g;
- EPI's: Óculos de segurança, jaleco de algodão de mangas compridas.

Para posterior cálculos de teor de sólidos e umidade seguindo a descrição:

- P1 – Peso do recipiente de alumínio;
- P2 – Peso da amostra inicial;
- P3 – Peso da amostra secada.

3.1.3 Construção da curva de secagem

A execução do processo de secagem das amostras, pesadas e secadas individualmente, seguiu o preparo:

- a) Preparo do recipiente de alumínio: Lavar o recipiente e aquecê-lo na estufa durante 1 hora;
- b) Remoção do recipiente da estufa com auxílio de uma pinça e colocar no dessecador até o momento do uso;
- c) Pesagem do recipiente sem amostra e anotar como P1;
- d) Homogeneização da amostra de lodo, pesagem e anotar como P2;
- e) Aquecimento do recipiente com o resíduo na estufa a 105°C até as marcações de tempo pré-estabelecidas;
- f) Cronometragem do tempo determinado para cada amostra;
- g) Após tempo determinado de secagem para a amostra, foi retirado o recipiente e colocado no dessecador para estabilização;
- h) Pesagem o recipiente com o lodo secado e anotar como P3.

O (QUADRO 6) apresenta os tempos estabelecidos para a secagem das amostras de lodo in natura.

QUADRO 6 - TEMPOS DE SECAGEM ESTABELECIDOS PARA O LODO IN NATURA E DIGESTADO

Amostra	Tempo de secagem (min)
1	22
2	25
3	30
4	60
5	90
6	120
7	270
8	300
9	330
10	360

FONTE: O Autor (2018).

Foi necessária a determinação do teor de sólidos inicial, teor de sólidos da amostra após a redução de umidade, considerando as massas anotados na etapa de execução para a obtenção da umidade das amostras.

a) Cálculo da % de sólidos inicial da amostra (TSi)

$$TSi = \frac{(P \text{ amostra seca s.v.} - P \text{ cápsula})}{(P \text{ amostra úmida} - P \text{ cápsula})}, \quad (2)$$

sendo:

P amostra seca = P3

P cápsula = P1

P amostra úmida = P2

b) Cálculo do teor de sólidos da amostra:

$$\text{Teor de Sólidos} = \frac{(\text{Peso amostra úmida}) * TSi}{(\text{Peso amostra seca})} \quad (3)$$

c) Cálculo do teor de umidade:

$$\text{Teor de umidade} = 100\% - \% \text{ Teor de sólidos} \quad (4)$$

Com os dados de umidade e tempo de secagem, plotou-se a curva de umidade (%) x tempo de secagem (min) que foi utilizada tanto para as amostras de lodo in natura quanto a amostra de lodo digestado.

3.1.4 Amostragem e secagem dos lodos de esgoto in natura e digestado para análise em laboratório externo

No intuito de obter amostras com umidades específicas, conforme pontos de alimentação definidos, pastoso e sólidos, foram coletadas duas amostras adicionais, além das a mostras para definir a curva de secagem. Sendo uma de lodo in natura para pastoso com umidades entre 40 a 50% e lodo digestado para sólidos, com umidade menor que 30%.

Para coleta e secagem das amostras, foram seguidos os mesmos procedimentos de amostragem e secagem descritos nos itens 3.1.2 e 3.1.3 deste trabalho.

3.1.5 Análise do poder calorífico de duas amostras de lodo in natura em laboratório externo

As amostras secas em diferentes tempos de secagem, conforme curva de secagem definida, de cerca de um quilo cada, foram encaminhadas a laboratório externo, para avaliação do poder calorífico superior, PCS, parâmetro adotado pelas cimenteiras da região de geração do lodo

3.1.6 Caracterização das amostras conforme parâmetros da legislação de coprocessamento CEMA 76/09 e DN 154/10 em laboratório acreditado pelo INMETRO.

As amostras de lodo de esgoto in natura e lodo de esgoto digestado foram caracterizadas conforme legislação CEMA 76/09 e DN 154/10.

O (QUADRO 7) destaca as análises feitas pelo laboratório, bem como os métodos de análise empregados.

QUADRO 7 - PARÂMETROS E MÉTODOS DE ANÁLISE UTILIZADOS PELO LABORATÓRIO

Parâmetro	Método de Preparo para análise analítica	Método de análise	Descrição do método de preparo	Descrição do método de análise
Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Na, K, Ag, Sr, Tl, V, Zn	Método 3051A	(ICP-OES): Determinação: EPA 6010 C: 2007	Este método é aplicável à extração/dissolução de ácido assistido por microondas de sedimentos para lodos, solos e óleos para determinados elementos químicos.	Espectometria de emissão ótica - Plasma (ICP-OES)
Cloro total, Enxofre, bromo e flúor	Preparo: EPA 5050: 1994	EPA 300.0: 1993	Método utilizado para determinar o cloro total em resíduos sólidos por oxidação de bombas e titulação ou cromatografia iônica. Outros halogênios (bromo e flúor) e outros elementos (enxofre e nitrogênio) também podem ser determinados	Determinação de ânions inorgânicos por cromatografia de íons.
PCS	POP PA 143 - Rev 06	POP PA 143 - Rev 06	Método que determina o poder calorífico por bomba calorimétrica.	Método que determina o poder calorífico por bomba calorimétrica.
% Umidade, % sólidos, % cinzas, voláteis,	POP PA.058	POP PA.058	Este método determina a porcentagem de Sólidos, Umidade, Cinza, S.V, M.O e COT em Amostras de Solos, Sedimentos, Lodos e Resíduos.	Este método determina a porcentagem de Sólidos, Umidade, Cinzas e voláteis em Amostras de Solos, Sedimentos, Lodos e Resíduos.

FONTE: Adaptado de Bioagri MRX (2018).

3.1.7 Cálculo dos ganhos de substituição térmica das amostras de lodo de esgoto in natura e digerido

O poder calorífico deve representar ganhos energéticos e de massa referente a substituição do combustível fóssil principal. Para mensurar esses ganhos com o uso dos lodos de esgoto in natura e digeridos secos, por meio do poder calorífico analisado em laboratório, foi considerado uma cimenteira com:

- Produção de clínquer: 3.000 t/dia;
- Consumo térmico do forno: 820 kcal/kg
- PCS do coque (combustível principal): 8.330 kcal/kg;
- Massa de lodo alimentada: 20 t/dia.

Os cálculos dos ganhos energéticos com a substituição dos lodos bem como os ganhos em massa foram determinados pelas fórmulas:

$$\% \text{ de substituição térmica} = \frac{\text{PCS resíduo} \times \text{Massa de lodo alimentada}}{\text{Consumo térmico do forno} \times \text{produção do forno}} \quad (5)$$

$$\text{Energia fornecida pelo resíduo (Gcal)} = \text{PCS resíduo} \times \text{Quantidade consumida} \quad (6)$$

$$\text{Quantidade de coque em massa substituída (t)} = \frac{\text{Energia fornecida pelo resíduo}}{\text{PCS coque}} \quad (7)$$

3.2 IDENTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DOS LODOS DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADOS SECOS NO SISTEMA FORNO E TORRE DE CICLONES DA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Para identificar equipamentos e pontos de alimentação de resíduos nas cimenteiras, bem como o preparo de resíduos, foi feito um estudo de campo fundamentado por meio de entrevistas e visitas em cimenteiras e blendeiras especializadas em tratamento de resíduos para coprocessamento. As cimenteiras participantes da pesquisa, foram dos estados do Paraná (três) e Minas Gerais (uma) caracterizadas pelas letras A, B, C e D, e com a cimenteira Alemã, SCHWENCK, visitada em novembro de 2017 na cidade de Almendinger, em Baden Wurtemberg, caracterizada pela letra E. Foram visitadas também, duas blendeiras do estado do Paraná, denominadas de Blend A e Blend B.

A pesquisa utilizou como base orientativa, dois questionários (apêndice I e II) que estabeleceu questões, dentre outras, para identificar quais equipamentos e pontos de alimentação utilizados para alimentar resíduos nos fornos as cimenteiras possuem, bem como questões específicas referentes a probabilidade de consumo, quais equipamentos recomendados para alimentar este resíduo no forno e qual melhor ponto de alimentação, melhorias e recomendações especificamente sobre as amostras de lodo e seus respectivos laudos enviados.

3.3 VIABILIDADE DE COPROCESSAMENTO DO LODO DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADO EM FORNOS DE CLÍNQUER, DE ACORDO COM OS REGULAMENTOS, NORMAS E LEGISLAÇÕES DA ALEMANHA E DO BRASIL

Os resultados das amostras dos lodos digestados analisados em laboratório foram comparados aos parâmetros da legislação alemã e da comunidade europeia bem como com os dados das legislações do estado do Paraná e Minas Gerais no Brasil.

Elaborou-se a partir dos dados levantados, um quadro comparativo da legislação CEMA 76/2009 e a legislação DN 26/2010 de MG e as legislações EURITS, LEITFADEN e a norma RAL verificando o atendimento a legislação e a probabilidade de consumo das amostras de lodo caracterizadas tanto nos estados brasileiros de Minas Gerais e Paraná como com as normas e legislações aplicadas na Alemanha.

3.4 TESTE DO LODO DE ESGOTO DIGESTADO NO FORNO DE CLÍNQUER DE UMA CIMENTEIRA

A cimenteira definida para a realização dos testes, devido sua proximidade da empresa geradora do resíduo está localizada no estado do Paraná, na cidade de Balsa Nova.

O lodo digestado foi disponibilizado pela empresa geradora do resíduo para o teste.

O órgão ambiental do Paraná (IAP) concedeu autorização ambiental para a realização do teste, sendo que a documentação solicitada e protocolada no órgão ambiental para a obtenção desta autorização consistiu em: Cópia das licenças de operação da cimenteira e da empresa geradora do lodo digestado, laudo de caracterização do resíduo conforme CEMA 76/2009, carta de anuência da cimenteira e formalização de acordo entre a cimenteira e a geradora, pagamento da taxa do órgão ambiental. Com data de protocolo no órgão ambiental em 06/12/2017 sob número de protocolo 14.962.159-8, conforme anexo V.

Vinte toneladas de lodo digestado secados, no local de origem, foram utilizados no teste na cimenteira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE LODOS DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADO PARA FINS DE SUBSTITUIÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Para a caracterização dos lodos, houve a necessidade da secagem dos mesmos de forma a obter amostras com diferentes umidades. O (QUADRO 8) apresenta os resultados obtidos para a elaboração da curva de secagem de lodos in natura.

QUADRO 8 - TEOR DE SÓLIDOS E TEMPOS DE SECAGEM EM ESTUFA DO LODO IN NATURA PROVENIENTE DO FILTRO PRENSA

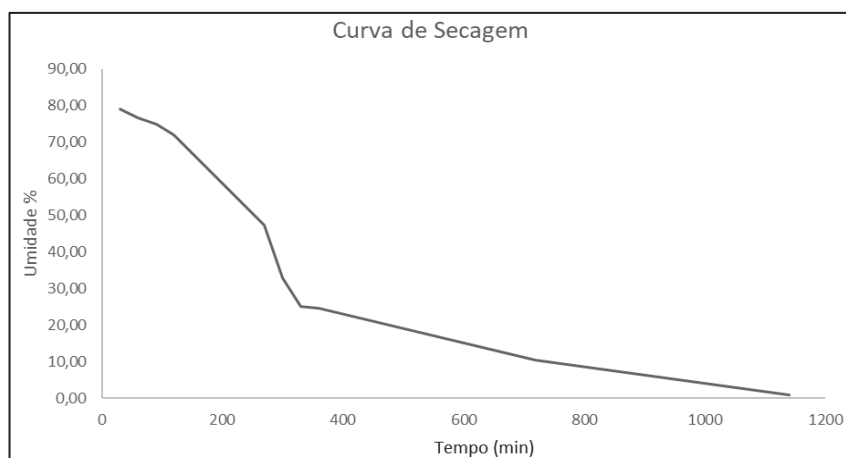
Amostra	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Teor de sólido inicial (%)	Teor de sólidos (%)	Umidade (%)	Tempo de secagem (min)
1	65,4	61,19	19,53	20,87	79,13	30
2	68,63	57,29	19,53	23,40	76,60	60
3	67,12	52,12	19,53	25,15	74,85	90
4	72,65	50,58	19,53	28,05	71,95	120
5	48,54	18,00	19,53	52,67	47,33	270
6	46,08	13,43	19,53	67,01	32,99	300
7	45,90	11,97	19,53	74,89	25,11	330
8	50,42	13,07	19,53	75,34	24,66	360
9	56,80	12,70	20,03	89,58	10,42	720
10	52,30	10,57	20,03	99,11	0,89	1140

FONTE: O Autor (2018).

Com os dados obtidos foi possível traçar uma curva de secagem confrontando os dados de umidade e tempo (GRÁFICO 5).

A curva de secagem permitiu a determinação dos tempos de secagem dos lodos para obtenção de diferentes umidades e possibilitou a compreensão do comportamento de secagem da amostra do lodo in natura. Utilizou-se a mesma curva, para os ensaios de lodos in natura e lodos digestados, por considerar que eles provêm da mesma origem.

GRÁFICO 5 - CURVA DE SECAGEM DO LODO IN NATURA



FONTE: O autor (2017).

Observa-se que após 250 minutos a umidade média das dez amostras já havia decaído 50%.

Para uso como coprocessamento, o percentual de umidade, varia conforme o tipo de resíduo alimentado, mínimo de 35% de umidade para pastoso e menor que 30% de umidade para sólidos e desta forma, os tempos de secagem seriam em torno de 350 a 450 minutos.

A (TABELA 4) apresenta os resultados somente do PCS e umidade das 5 amostras avaliadas nos laboratórios externos, entregues por meio de laudos apresentados nos anexos. (ANEXOS 1, 2, 3 e 4)

TABELA 4: DADOS DE PODER CALORÍFICO E UMIDADE DE AMOSTRAS DOS LODOS IN NATURA E DIGESTADO

Amostra	Data de coleta	Umidade %	Tipo de lodo	PCS kcal/kg
1	03/07/2017	< 1%	In natura	4.197
2	06/07/2017	25,7	In natura	3.297
3	27/04/2017	42,1	In Natura	2540
4	22/12/2017	1,13	Digestado	3.850

FONTE: O autor (2018).

Para o percentual de 25,7% de umidade, obteve-se para o lodo in natura, um poder calorífico de 3.297 kcal/kg, valor superior ao apontado por SAMOLADA, (2013)

que mostra resultados médios em torno de 2.800 kcal/kg para um lodo in natura de 25% de umidade. Para 42,1% de umidade também do lodo in natura, o resultado do estudo mostrou um poder calorífico em torno de 2.540 kcal/kg.

Com o objetivo de verificar qual seria o maior rendimento de poder calorífico, tanto para o lodo in natura quanto para o lodo digestado foram secadas duas amostras de cada um dos lodos por 1.144 minutos para cerca de 1% de umidade. O poder calorífico obtido para a amostra de lodo in natura foi de 4.1967 kcal/kg e para o lodo digestado foi de 3.850 kcal/kg. A diferença de poder calorífico entre ambos, mostra números próximos às referências encontradas. Segundo Fischer (2017) é possível obter lodos digestados com redução de até 20% no poder calorífico, quando comparados aos lodos in natura. A diferença dos resultados apresenta uma redução de 10%. Estudos feitos por ROSA (2014) também mostram que o lodo secado a umidades menores que 5% pode chegar a um poder calorífico acima de 4.000 kcal/kg, mostrando que os resultados estão coerentes com a literatura.

A (FIGURA 21) ilustra uma das amostras de lodo in natura estudadas, secada por 340 min que apresentou 25,7% de umidade.

FIGURA 21– RESULTADO DA SECAGEM DE AMOSTRA DE LODO SECO A 25,7% DE UMIDADE



FONTE: O autor (2017).

A amostra de lodo secada a 25,7% de umidade apresentou aspecto granulado, friável á mão, sendo que o odor característico de lodos de esgoto estava significativamente reduzido.

Considerando o PCS de 8.330 kcal/kg do coque de petróleo, para cada tonelada de coque alimentada a substituição em massa seria de 1 tonelada de coque

para 2,5 t lodos in natura de 25,7% de umidade; 1: 3,3 t para lodos in natura de 42,1% e 1: 2 t de lodo digestado e in natura com umidade em torno de 1%.

Os ganhos energéticos de substituição e ganhos em massa de combustível fóssil substituídos, conforme dados do PCS das amostras de lodo analisadas são apresentados no (QUADRO 9). Para os cálculos, foram utilizados dados de uma cimenteira com consumo térmico no forno de 820 kcal/kg, produção de clínquer de 3.000 t/dia, consumo de 20 t/dia de lodo.

QUADRO 9 – CÁLCULO DA SUBSTITUIÇÃO ENERGÉTICA NO FORNO DE CLÍNQUER DAS AMOSTRAS DE LODO

Lodo	PCS (kcal/kg)	Substituição térmica (%)	Quantidade de calor fornecida (Gcal)	Coque substituído (t)
In natura	4.197	3,41	83,94	10,11
In natura	3.297	2,68	65,94	7,94
In Natura	2.540	2,06	50,8	6,12
Digestado	3.850	3,13	77,0	9,28

FONTE: O autor (2018).

Conforme (QUADRO 9), um poder calorífico maior fornecerá uma melhor substituição energética ao forno. A quantidade de calor fornecida, também está de acordo com o poder calorífico do resíduo, para um PCS de 4.197 kcal/kg a quantidade de calor fornecida foi de 83,94 Gcal com uma substituição de coque de 10,11 t. Mostrando que a secagem do lodo tem um impacto significativo não só no poder calorífico disponibilizado, mas também na quantidade de calor fornecida e na massa de coque substituído. Isso representa ganhos reais financeiros às cimenteiras, com redução no custo do produto final e também redução nas emissões atmosféricas pela redução do combustível fóssil por um combustível alternativo.

Desta forma, a caracterização das amostras de lodo apresentou poder calorífico suficiente para disponibilizar ganhos energéticos as cimenteiras, pela substituição do combustível principal com redução de seu consumo em massa, portanto, os lodos de esgoto secos in natura e digestado nas umidades estudadas, mostraram-se adequados para coprocessamento em fornos de clínquer.

4.2 VIABILIDADE OPERACIONAL DO COPROCESSAMENTO DO LODO DE ESGOTO DIGESTADO EM FORNOS DE CLÍNQUER DA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

O trabalho em campo, realizado em cimenteiras no Brasil e em uma cimenteira na Alemanha, é ilustrado pelas (FIGURAS 22 e 23).

FIGURA 22 – FÁBRICA DE CIMENTO SCHWENCK – ALLMENDINGER ALEMANHA



FONTE: O autor (2017).

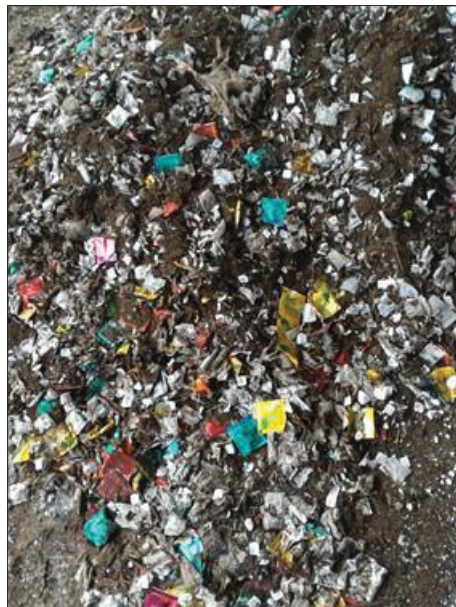
FIGURA 23 – LODO DIGESTADO ORIUNDO DE GERADOR DE BIOGÁS NA ALEMANHA



FONTE: O autor (2017).

A (FIGURA 24) ilustra resíduo triturado em uma das blendeiras visitadas. O lodo, segundo entrevista com um dos técnicos responsáveis pela planta de blendagem, poderia ser misturado á esse resíduo e enviado à cimenteira para dosagem nos fornos via ponto de alimentação no pre-calcinador.

FIGURA 24 – RESÍDUO SÓLIDOTRITURADO EM BLENDEIRA



FONTE: O Autor (2018).

As visitas e entrevistas realizadas com as cimenteiras e blendeiras, resultaram nos dados listados nos quadros a seguir.

O (QUADRO 10) mostra o resultado coletado da tipologia de resíduos coprocessados, no caso das cimenteiras, e utilizados para compor blends de coprocessamento, para as blendeiras A e B.

QUADRO 10 - TIPOS DE RESÍDUOS COPROCESSADOS/BLENDADOS

TIPOS DE RESÍDUOS COPROCESSADOS	A	B	C	D	E	Blend A	Blend B
SÓLIDOS TRITURADOS	X	X	X	X	X	X	X
PASTOSO	X	X	-	X	X	X	-
LÍQUIDOS	X	X	-	X	X	X	-
PNEUS INTEIROS	X	X	X	X	X	-	-

FONTE: O Autor (2018).

Dos tipos de resíduos coprocessados nas cimenteiras, 100% das plantas, coprocessa resíduos sólidos triturados e pneus. Para resíduos líquidos e pastosos, somente a cimenteira C não coprocessa esse tipo de resíduo.

A blendeira A utiliza toda a tipologia de resíduos, pastoso, líquidos e sólidos triturados em seus blends. Já a blendeira B utiliza somente resíduos sólidos triturados na composição de seus blends. Entretanto, os pneus não participam dos blends por serem destinados diretamente a cimenteira.

O (QUADRO 11) apresenta os pontos de alimentação no forno para coprocessamento de resíduos, conforme entrevista com as cimenteiras e apresenta também, os pontos cujos blends são preparados pelas blendeiras.

QUADRO 11 - PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUO PARA COPROCESSAMENTO NO FORNO DE CLÍNQUER

PONTOS DE ALIMENTAÇÃO	A	B	C	D	E	Blend A	Blend B
CAIXA DE FUMAÇA	X	X	-	X	X	X	X
PRÉ-CALCINADOR	X	X	X	X	X	X	X
MATÉRIA-PRIMA	X	X	X	X	X	X	X
MAÇARICO PRINCIPAL	X	-	-	X	X	X	X
CSS VIA MOAGEM DE COMBUSTÍVEL	X	X	-	X	-	X	X

FONTE: O Autor (2018).

As cimenteiras A e D são as que possuem o maior numero de pontos de alimentação e, portanto, seriam as cimenteiras mais indicadas a receber os lodos de esgoto secos para possíveis testes. Já a cimenteira C possui ponto de alimentação no forno somente no pré-calcinador, considerando resíduos com substituição energética tornando-se mais restritiva a testes com os lodos.

O consumo de resíduos via moagem de coque, CSS é realizado somente pelas cimenteiras brasileiras, a cimenteira alemã só alimenta resíduos diretamente no forno por questões de legislação. Este ponto pode ser considerado como ponto de alimentação para um teste com os lodos de esgoto in natura e digestado secos.

As blendeiras A e B produzem resíduos para todos os pontos de alimentação no forno e sistema torre de ciclones o que torna possível o recebimento dos lodos de esgoto secos, in natura e digestados para compor o blend para alimentação.

O (QUADRO 12), apresenta os parâmetros e limites para aceite do resíduo na entrada nas plantas cimenteiras e nas blendeiras, considerando parâmetros analisados na amostra do resíduo.

QUADRO 12 - PARÂMETROS E LIMITES PARA ACEITE DE UM RESÍDUO (PASTOSO)

PARÂMETROS / LIMITES	A	B	C	D	E	Blend A	Blend B
Atendimento legislação	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
PCS	>2.500	>2.000	-	>3.500	-	>1.000	>1.000
% mínimo de Líquidos	-	-	-	>35	-	-	-
% Cinzas	<25	-	-	<25	-	-	-
% Cloro	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	<0,5	<0,5

FONTE: O Autor (2018).

O PCS que representa o percentual de substituição energética, é similar entre as cimenteiras consultadas, mas tem certa variação mostrando que os processos são diferentes e, portanto, cada cimenteira adota o valor adequado para o coprocessamento em suas plantas. Percebe-se também que no caso das blendeiras, o PCS é menor por considerar blendagem com outros resíduos de poder calorífico maior. Uma das cimenteiras, não possui limite mínimo de PCS, pois a Alemanha não possui limite mínimo e controle para esse parâmetro.

O % de cloro de até 0,5% é limitado em todas as cimenteiras brasileiras, a cimenteira Alemã não possui limites para o recebimento de cloro, pois possui o equipamento *by pass* instalado em seu sistema torre de ciclones + forno e, portanto, o cloro excedente recebido é purgado. Nenhuma das cimenteiras entrevistadas possui o sistema *by pass* instalado, o que certamente deve limitar o recebimento de alguns resíduos com cloro acima de 0,5%.

A amostra de lodo de esgoto destinada a esse ponto de alimentação, atende a todos os parâmetros indicados pelas cimenteiras e blendeiras e poderia ser consumido.

O quadro 13, apresenta os resultados obtidos nas entrevistas referente aos parâmetros e limites de aceite na entrada das plantas de blendagem e cimenteiras para resíduos sólidos, considerando análises do resíduo.

QUADRO 13 - PARÂMETROS E LIMITES PARA ACEITE DE UM RESÍDUO (SÓLIDO)

PARÂMETROS / LIMITES	A	B	C	D	E	Blend A	Blend B
Atendimento legislação	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
% Umidade	< 25%	<	< 20%		< 23%	-	-
PCS kcal/kg – Base seca	>3.500	>2.000	>3.500	>3.500	-	> 1000	> 1000
Granulometria Pré- cal mm	< 50	< 50	< 100	< 50	< 70	-	-
Granulometria MP – mm	< 25	-	-	< 25	< 25	-	-
% Cloro	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	<0,5	<0,5
% Cinzas	<25	-	-	<25	-	-	-
Densidade kg/m ³	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,30	-	-

FONTE: O Autor (2018).

A cimenteira alemã não possui limites para vários parâmetros, como % de cloro, % cinzas e PCS. Segundo o entrevistado, a negociação para esses parâmetros recai sobre o preço do resíduo com as blendeiras, quanto maior o PCS por exemplo, menor o preço negociado pelo resíduo.

O PCS também é fator limitante para o recebimento de resíduos sólidos, e apresenta valores diferenciados para cada uma das cimenteiras, a cimenteira B recebe com PCS acima de 2.000 kcal/kg e as cimenteiras, A, C e D acima de 3.500 kcal/kg.

A granulometria é análoga para a maioria das cimenteiras entrevistadas, somente a cimenteira C possui uma margem maior para o mesmo ponto de alimentação, 100 mm x 50 mm.

O lodo de esgoto digestado, cuja amostra foi caracterizada para fins de resíduos sólido, está adequada ao consumo em todas as cimenteiras entrevistadas, pois atende a todos os parâmetros exigidos.

A densidade é um parâmetro apontado como importante para sistemas de alimentação com dosagem automática, tanto no pré-calcinador como no maçarico principal.

O (QUADRO 14), apresenta os resultados obtidos nas entrevistas apontando os equipamentos utilizados na dosagem de resíduos no forno, conforme entrevista com as cimenteiras.

QUADRO 14 - EQUIPAMENTOS INSTALADOS PARA COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS

PONTOS DE ALIMENTAÇÃO	A	B	C	D	E
BOMBA DE PASTOSO	X	X		X	X
CORREIA DE SÓLIDOS	X	X	X	X	X
CORREIA PNEUS INTEIRO	X				X
SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS	X	X	X	X	X
MAÇARICO ADAPTADO PARA RESÍDUOS	X			X	X

FONTE: O Autor (2018).

A cimenteira A é a que possui mais equipamentos para consumo de resíduos e, portanto, com maiores pontos de alimentação e a cimenteira C com menos pontos.

Para pastoso, excluindo a cimenteira as cimenteiras utilizam bombas de pistão automático, segundo os entrevistados muito utilizada para bombear concreto.

O sistema automático de alimentação de resíduos sólidos é o sistema utilizado por todas as cimenteiras e é considerado o mais moderno por todas por diminuir efeitos indesejados nos fornos durante a alimentação dos resíduos e controlar melhor a dosagem.

Os quadros 15 e 16, apresentam a avaliação das cimenteiras, cuja amostra de lodo de esgoto na forma de resíduo pastoso foi encaminhada com os respectivos laudos analíticos, referente ao aceite do lodo para coprocessamento e o respectivo ponto de alimentação indicado.

QUADRO 15 - A AMOSTRA DE LODO DE ESGOTO ESTAVA ADEQUADA PARA SER CONSUMIDA COMO PASTOSO

ADEQUAÇÃO	A	B	C	D	Blend A	Blend B
ADEQUADA AO USO NA CIMENTEIRA	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

FONTE: O Autor (2018).

QUADRO 16 - PONTO DE ALIMENTAÇÃO MAIS ADEQUADO DO LODO DE ESGOTO PASTOSO

PONTOS DE ALIMENTAÇÃO	A	B	C	D
CAIXA DE FUMAÇA	X		-	X
PRÉ-CALCINADOR	X		-	X
MAÇARICO PRINCIPAL			-	
CSS VIA MOAGEM DE COMBUSTÍVEL		X	-	

FONTE: O Autor (2018).

Conforme (QUADROS 15 e 16) o lodo caracterizado como pastoso, poderia ser aceito para coprocessamento pelas cimenteiras entrevistadas e pelas blendeiras para uso como coprocessamento direto ou para blendagem conforme blendeiras A e B.

Os pontos de alimentação apontados como os mais adequados pelas cimenteiras entrevistadas, foram o pré- calcinador e a caixa de fumaça, ambos pontos de alimentação localizados na torre de ciclones.

A cimenteira B apontou que o lodo poderia ser alimentado como CSS via ponto de alimentação da moagem de coque.

Mostrando que cada cimenteira, tendo diferentes interpretações em relação ao melhor ponto de dosagem do lodo o que amplia as possibilidades de dosagem do material no processo.

Os (QUADRO 17 e 18) apresentam a avaliação das cimenteiras e blendeiras, cuja amostra de lodo de esgoto forma de resíduo sólido, foi encaminhada com os respectivos laudos analíticos, referente ao aceite do lodo para coprocessamento e o respectivo ponto de alimentação indicado.

QUADRO 17 - RESULTADO DO ACEITE DAS CIMENTEIRAS E BLENDEIRAS DA AMOSTRA DE LODO DE ESGOTO DIGESTADO SECO PARA COPROCESSAMENTO

ADEQUAÇÃO	A	B	C	D	Blend A	Blend B
ADEQUADA AO USO NA CIMENTEIRA	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

FONTE: O Autor (2018).

QUADRO 18 - PONTO DE ALIMENTAÇÃO MAIS ADEQUADO DO LODO DIGESTADO SECO NAS CIMENTEIRAS ENTREVISTADAS

PONTOS DE ALIMENTAÇÃO	A	B	C	D
CAIXA DE FUMAÇA	X	X		X
PRÉ-CALCINADOR	X	X	X	X
MAÇARICO PRINCIPAL				
CSS VIA MOAGEM DE COMBUSTÍVEL	X	X		X

FONTE: O Autor (2018).

Conforme (QUADROS 17 e 18), todas as cimenteiras e blendeiras consideraram os resíduos de lodos de esgoto, in natura e digestado adequados ao coprocessamento.

O lodo digestados seco, conforme indicação das cimenteiras, poderia ser alimentado em vários pontos no sistema torre de ciclones. O ponto mais indicado foi o pré- calcinador, entretanto pontos como caixa de fumaça também estão adequados.

O maçarico principal foi citado como possível ponto, desde que o lodo de esgoto seco digestado atendesse os parâmetros que granulometria máxima de 25 mm e PCS acima de 4.000 kcal/kg. A amostra de lodo seco digestado, ficou bem próxima do PCS mínimo exigido, 3.860 kcal/kg e a granulometria poderia ser atendida dispondo o lodo em um granulador. Entretanto esse estudo não foi contemplado no trabalho.

O (QUADRO 19), apresenta os resultados da entrevista nas blendeiras e cimenteiras referente a possíveis restrições ao recebimento do resíduo nas plantas.

QUADRO 19 - RESTRIÇÃO AO RECEBIMENTO DOS LODOS NA CIMENTEIRA E BLENDEIRA

ADEQUAÇÃO	A	B	C	D	Blend A	Blend B
HAVERIA ALGUM IMPEDIMENTO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

FONTE: O Autor (2018).

Referente as possíveis restrições no recebimento, os agentes patológicos foram citados como exigências no recebimento, não por questões de aceites técnicos do resíduo e sim por sua relação com a segurança e saúde ocupacional dos colaboradores que irão manusear esses lodos, secos ou pastosos.

Diante dos resultados das cimenteiras e blendeiras entrevistadas, as recomendações de uso nas cimenteiras, para os lodos de esgoto:

Lodo de esgoto in natura – Amostra aprovada para uso nas cimenteiras como resíduo pastoso, pontos de alimentação indicados: caixa de fumaça, CSS e pré-calcinador. Equipamento para alimentação do tipo bomba dosadora de pistão. As recomendações seguem as referências de SCHWENCK (2017); DYNAMIS, (2017) e AFONSO (2006).

Lodo de esgoto digestado seco – Amostra aprovada para uso nas cimenteiras como resíduo sólido, pontos de alimentação indicados: caixa de fumaça e pré-calcinador com equipamento automático composto de correias transportadoras com dosadores helicoidais na entrada do sistema torre + forno, projetados visando sistemas de recepção dos resíduos, armazenamento, transporte e dosagem de transporte e dosagem juntos automatizados. As indicações apontadas pelas cimenteiras entrevistadas, estão de acordo com as referências de DYNAMIS (2017).

Desta forma, com base nos relatos das cimenteiras e das blendeiras, ambos os lodos de esgoto são considerados viáveis operacionalmente para uso no coprocessamento.

4.3 VIABILIDADE DO COPROCESSAMENTO DO LODO DE ESGOTO IN NATURA E DIGESTADO DE ACORDO COM REGULAMENTOS, NORMAS E LEGISLAÇÕES DA ALEMANHA E DO BRASIL

As amostras de lodo de esgoto in natura e digestado foram analisadas em laboratório acreditado pelo INMETRO e ambos os resultados foram comparados com as principais e mais restritivas legislações brasileiras para coprocessamento e com normas e legislações utilizadas na Alemanha.

Tanto a Alemanha como o Brasil, possuem estados com legislações próprias para o coprocessamento de resíduos, com diferentes limites e parâmetros no aceite de resíduos para entrada na cimenteira e blendeiras.

Neste estudo, foram consideradas as legislações do estado do Paraná e de Minas Gerais para o Brasil, por serem as mais restritivas e pela proximidade do local gerador do resíduo com as possíveis cimenteiras e blendeiras.

A Alemanha, além das legislações específicas de coprocessamento, como a do estado de NRW a Leitfadene, dispõe de normas para recebimento de resíduos definidas por setores de interesse, como a EURITS, da comunidade europeia, e a RAL - GZ724 ligada ao setor de blendagem de resíduos. O Brasil não possui regras nem normas estabelecidas por entidades ligadas ao setor cimenteiro ou de blendagem de resíduos. Pode-se citar regras estabelecidas pelas próprias cimenteiras, por vezes mais restritivas que as da legislação, mas que consideram parâmetros e limites de acordo com o processo individual de cada forno conforme observado neste estudo.

O (QUADRO 20) mostra o comparativo entre os resultados das análises laboratoriais e as legislações e normas utilizadas no Brasil e na Alemanha.

QUADRO 20 - COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS DO LODO IN NATURA E LODO DIGESTADO COM OS LIMITES MÁXIMOS DAS LEGISLAÇÕES E NORMAS DA ALEMANHA E BRASIL

Parâmetro	Unidade	Lodo de esgoto in natura	Lodo de esgoto Digestado	CEMA 76/2009	COPAM 154/2010	RAL - GZ724	Leitfaden	EURITIS
Poder calorífico	kcal/kg	2.540	3.850	> 1.500	> 2.000	-	-	-
Hg	mg/kg	0,0487	0,1182	≤10	≤ 10	0,6	1,2	-
Cd	mg/kg	0,961	0	-	-	4	9	2
Tl	mg/kg	< 1	< 1	-	-	1	2	2
Soma Hg+Cd+Tl	mg/kg	< 2,01	< 1,12	≤200	≤100	-	-	-
As	mg/kg	< 1	< 1	-	-	5	13	-
Co	mg/kg	2,72	4,9	-	-	6	12	-
Ni	mg/kg	18,4	36,1	-	-	80	100	70
Se	mg/kg	< 1	< 1	≤100	-	-	-	-
Te	mg/kg	< 5	< 5	-	-	-	-	-
Soma As+Co+Ni+Se+Te	mg/kg	< 28,12	< 48	≤5000	≤1.500	-	-	-
Sb	mg/kg	1	3,39	-	-	50	120	-
Soma As+Se+Te+Cd+ Sb	mg/kg	8,961	10,39	-	-	-	-	10
V	mg/kg	10,7	22,6	-	-	10	25	-
Cr	mg/kg	60,6	127	< 5000	-	125	250	-
Cu	mg/kg	132	311	-	-	350	700	-
Pb	mg/kg	18,7	40,6	< 5.000	< 3.000	-	-	-
Mn	mg/kg	NA	NA	-	-	80	500	-
Sn	mg/kg	< 1	21,7	-	-	30	70	-
Soma V+Cr+Co+Ni+Cu+Pb+Mn+Sn	mg/kg	<243,1	542,2	-	-	-	-	200
Be	mg/kg	NA	NA	-	-	-	-	1
Soma Sb+Cr+Sn+Pb+V	mg/kg	91	193,59	-	≤ 5.800	-	-	-
Cl	%	<0,05	0,178	-	-	-	-	0,5
F	%	0,0165	0,01	-	-	-	-	0,1
S	%	1	0,698	-	-	-	-	0,4
Br	%	-	-	-	-	-	-	1
Mo		-	-	-	-	-	-	20

FONTE: O Autor (2018).

O poder calorífico nas amostras de lodo analisadas, é o parâmetro indicador nas amostras de lodo para verificar a viabilidade do resíduo ser considerado como

substituto energético no forno de clínquer. Este parâmetro tem restrições na legislação brasileira estudada, com limite da legislação do Paraná acima de 1.500 kcal/kg e em Minas Gerais valores superiores a 2.000 kcal/kg considerando resíduos prontos para entrar na fábrica de cimento. Ou seja, resíduos com menor poder calorífico que os citados não estão autorizados pela legislação para coprocessamento direto nas cimenteiras. Entretanto, na analogia deste parâmetro a legislação e normas utilizadas na Alemanha, não há restrição para poder calorífico e desta forma, resíduos que atendam os demais parâmetros estão liberados para consumo no forno.

Referente a metais pesados e demais parâmetros na tabela comparativa, a legislação e normas alemãs são mais restritivas que as do Brasil, para coprocessamento de resíduos. O rigor é percebido nos limites para os parâmetros de metais pesados quando comparados aos limites para os mesmos parâmetros na legislação brasileira.

Para metais voláteis como o mercúrio, o limite é de no máximo 10 mg/kg nas legislações brasileiras e tanto na legislação alemã Leitfaden quanto na norma RAL, esse limite é praticamente 10 vezes menor mostrando um controle mais efetivo deste tipo de metal pesado. Isso fica ainda mais evidente, se consideramos a mesma regra das legislações CEMA 76/09 e DN 154/2010 para a soma desses três metais voláteis, que é de 200 e 100 mg/kg respectivamente. Para a legislação RAL, o limite máximo dos três metais somados é de 5,6 mg/kg e para a legislação Leitfaden é de 12,2 mg/kg, praticamente 1 décimo dos mesmos limites praticados no Brasil.

Para o cromo, a legislação paranaense prevê um limite máximo de até 5.000 mg/kg, sendo que segundo a legislação Leitfaden o limite é de 250 mg/kg e para a RAL esse limite é ainda menor, 125 mg/kg. Considerando os resultados dos valores de cromo analisados pelo laboratório acreditado pelo INMETRO das amostras, o lodo digestado não seria aprovado conforme a regra da RAL, com valor de 127 mg/kg para ser aplicado em blends. Este fato leva a questionamentos referentes a origem do lodo, pois se tratando de lodo biológico, certamente a presença de metais pesados como o cromo deveria ser um valor menor.

Outro fato interessante encontrado são os limites para halogênios como cloro, flúor e bromo e outros elementos como enxofre e molibdênio, todos apontados com limites restritivos na norma EURITS, que não possuem limites na legislação brasileira. Entretanto há regras internas nas cimenteiras brasileiras e nas da Alemanha, como

observado nas referências da SCHWENCK (2017) e ABCP (2014). Os percentuais de cloro nas duas amostras, de lodo de esgoto in natura e digestado encontram-se adequadas com os limites estabelecidos pelas cimenteiras entrevistadas. Caso o resultado esteja acima do limite aceitável de cloro, a dosagem via blend em blendeiras especializadas para este fim, poderia ser considerado para posterior consumo via coprocessamento.

O metal selênio, é citado na legislação CEMA 76/09 cujo limite máximo é de 100 mg/kg e não aparece nas demais legislações e normas alemã e nem tampouco na DN 154/2010 de Minas Gerais o que leva a um questionamento sobre o por que deste metal ter limites máximos no resíduo.

A soma dos metais Antimônio, cobalto, níquel, selênio e telúrio apresenta nas legislações brasileiras com limites máximos de 5.000 mg/kg na CEMA 76/09 e 1.500 mg/kg na DN 154/2010. Na Alemanha, não há regra para a soma desses metais, somente limites para alguns deles de forma individual, e o telúrio não possui limites de aceitação nos resíduos coprocessados na Alemanha.

Dos resultados referentes as amostras dos lodos analisados, segundo a legislação brasileira, não haveria restrição para o coprocessamento nos estados de Minas Gerais e Paraná. As mesmas amostras seriam também aprovadas no estado NRW da Alemanha, mas teriam restrição as normas EURITS e RAL - GZ724 conforme já demonstrado.

O critério de análises dos limites máximos dos metais pesados, também mostrou que os resultados das amostras dos dois lodos analisados estão adequados e, portanto, passíveis de licenciamento nos estados do Paraná e Minas Gerais para coprocessamento.

Por serem da mesma origem, os resultados analisados dos metais pesados existentes nas amostras dos dois tipos de lodos, in natura e digestado, deveriam ser próximos. Entretanto, observou-se diferenças nas concentrações de alguns parâmetros. O zinco por exemplo, apresentou um valor no lodo digestado três vezes superior que o do lodo in natura. O teor de metais pesados como níquel, cobalto, cromo, chumbo e vanádio também apresentaram valores superiores nas amostras de lodo digestado, bem como resultados do cromo e níquel mostraram valores praticamente o dobro do lodo in natura. Isso pode mostrar que há uma possível

variação nas cargas de lodo recebidas pela empresa de tratamento que ocasiona divergências entre um lote e outro de lodo tratado.

Contudo, considerando os parâmetros conforme as legislações vigentes no Brasil, para coprocessamento, os resultados de ambas as amostras dos lodos analisados, in natura e digestado, mostraram-se viáveis para coprocessamento nos fornos de clínquer em cimenteiras.

As legislações e normas brasileiras e alemãs, apresentam diferenças significativas com diferentes parâmetros e limites para recebimento de resíduos são diversificadas, com limites próximos como os dos metais níquel, tálio e cádmio para a RAL, Leitifaden e EURITS. Entretanto, parâmetros como o mercúrio, metal volátil, não possuem limites na EURITS, assim como antimônio, cobalto, e soma de metais como mercúrio, cádmio e tálio.

Alguns limites apresentam diferenças importantes, como Cu e Mn, que na norma RAL o limite de aceitação é o dobro do limite da Leitifaden.

Considerando os limites das 3 regras utilizadas na Alemanha, legislação Leitifaden, normas RAL e EURITS, e uma comparação delas com os resultados das amostras dos lodos analisados, percebeu-se que para alguns parâmetros as amostras de lodo estudadas, ficaram acima do limite permitido podendo causar dificuldades na utilização deste resíduo na Alemanha.

Segundo regras estabelecidas pela norma EURITS, a soma dos parâmetros V, Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Mn, Sn em todas as amostras, ficou superior aos valores máximos apontados na norma, cujo limite máximo imposto é de até 200 mg/kg para esta soma de metais. Nas amostras de lodo digestado a soma desses metais ficou próxima a 500 ppm, praticamente o dobro dos limites estabelecidos. O enxofre também apresentou valores acima do limite permitido, para os lodos in natura e digestados, considerando o padrão EURITS. Desta forma, os lodos não estariam adequados conforme norma EURITS da comunidade europeia para coprocessamento.

Segundo norma de qualidade RAL - GZ724, que possui critérios de aceitação de resíduos enviados as blendeiras, o parâmetro vanádio apresentou valores superiores nas amostras de lodo estudadas. O cromo, na amostra de lodo digestado, ficou acima do limite permitido, mostrando que ambos os lodos também não estão adequados ao recebimento segundo recomenda a norma. Vale ressaltar ainda, que o

RAL- GZ724 é um padrão de qualidade para mistura de resíduos e, portanto, fornece limites de metais pesados a serem observados no recebimento de resíduos.

Comparando os valores obtidos nas análises dos dois lodos com a legislação Leitfaden, todos os parâmetros estavam dentro dos limites estabelecidos e, portanto, no estado de NRW na Alemanha, as amostras dos lodos poderiam ser aceitas para coprocessamento nos fornos das cimenteiras instaladas nesta região da Alemanha.

Um fato interessante a citar, é que não há limite mínimo referente a poder calorífico para recebimento de resíduos tanto nas normas quanto na legislação.

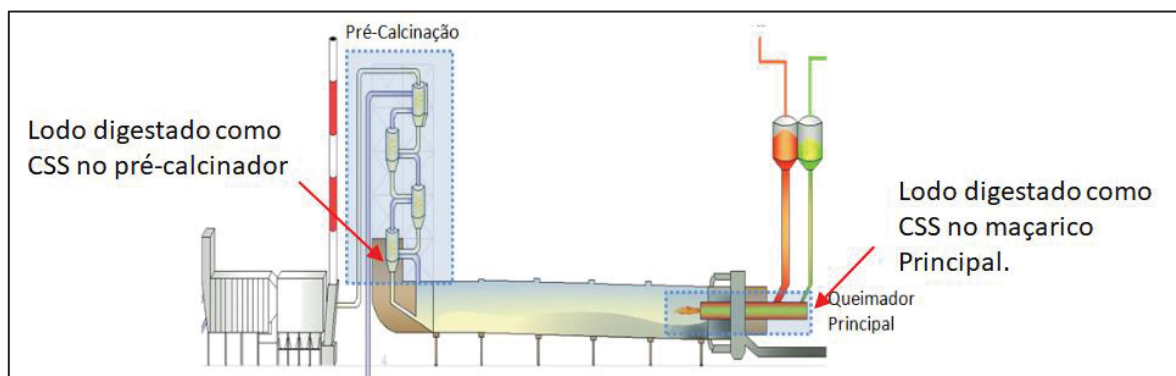
Considerando a legislação brasileira, nos estados do Paraná e Minas Gerais, os lodos estariam adequados à legislação para uso como coprocessamento.

4.4 TESTE DO LODO DE ESGOTO DIGESTADO SECO NO FORNO DE CLÍNQUER EM UMA CIMENTEIRA

Para testes na cimenteira, foi necessária a obtenção de autorização ambiental, concedida pelo órgão ambiental, no dia 16/05/2018 (ANEXO 5). A autorização ambiental foi concedida por um ano, autorizando o consumo de 12.000.000 kg do lodo de esgoto digestado na cimenteira. A autorização ambiental, de número 14.962.159-8, concluiu que o código do resíduo, conforme IN nº 1 IBAMA de 2013, é 190604 cuja denominação recebida foi para lodo como resíduo de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial, conforme descrição da atividade da empresa geradora.

Foram testados 20 t de lodo digestado, que foram misturados com outros resíduos denominados combustível sólido de substituição (CSS), via moinho de combustível para o forno. Por ter sido alimentado misturado ao coque, o resíduo foi dosado no maçarico principal e no pré-calcinador conforme ilustra a (FIGURA 25).

FIGURA 25– PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DO LODO NO TESTE NA CIMENTEIRA



FONTE: Adaptado de SECIL, 2017.

O forno de clínquer utilizado durante o teste, foi projetado para 3.000 t/dia de clínquer, sendo que para este tipo de forno o consumo térmico considerado é em torno de 820 kcal/kg. Desta forma, considerando as 20 t alimentadas e um PCS do lodo de 2.800 kcal/kg, a contribuição energética para o forno foi de 2,27%. Sendo utilizado constantemente, e seco a umidades menores que 30% a contribuição energética poderá ser maior, pois conforme demonstrado neste trabalho, a umidade baixa tem relação direta com o poder calorífico, em grandezas inversamente proporcionais.

Os técnicos responsáveis pelo teste na cimenteira, avaliaram o material como um possível substituto energético no forno, desde que o lodo esteja seco a umidades menores que 30%. O processo de fabricação de clínquer se manteve estável durante o consumo das 20 t de lodo, sem alterações no forno e no moinho de coque que recebeu o material. Desta forma, os equipamentos utilizados para a dosagem, bem como os pontos de alimentação indicados mostraram-se adequados ao consumo do lodo digestado.

Este resultado confirma que o resíduo está adequado a aplicação como substituto energético na indústria cimenteira via coprocessamento.

Os testes para avaliar a taxa máxima de alimentação do lodo como substituto energético deverão ser continuados, pois mostrou-se viabilidade para a sua continuação incluindo a avaliação da presença de agentes patogênicos após a secagem, visando a minimização de riscos ocupacionais.

5 CONCLUSÃO

Lodos de esgoto in natura e digestados são coprocessados em fornos de clínquer de cimenteiras de vários países, como Estados Unidos, China e países da Europa.

O uso desses lodos como resíduos para fornos de clínquer, depende de características como atendimento de parâmetros das legislações e/ou normas aplicáveis, limites específicos de cada cimenteira e que variam conforme seus processos, definição dos pontos de alimentação no forno e torre de ciclones, equipamentos de dosagem, entre outros.

Os pontos de alimentação normalmente estão localizados no sistema torre de ciclones e forno, com dosagens no pré-calcinador, caixa de fumaça, maçarico principal e misturados ao coque no chamado CSS.

Para a dosagem, os equipamentos mais utilizados são bombas para os resíduos pastosos, e correias ou sistemas de dosagem automatizados para os resíduos sólidos que transportam e o alimentam. Também são utilizados os moinhos de combustíveis para a dosagem do CSS.

Tecnicamente, a escolha dos pontos de alimentação e dos equipamentos adequados para a dosagem dos lodos estudados, considerando o processo de coprocessamento concomitante à produção de clínquer, está diretamente ligada a umidade e ao poder calorífico apresentado pelo resíduo.

Para umidades acima de 35% o lodo é considerado resíduo pastoso, o equipamento indicado para a dosagem nesta umidade são bombas de pressão positiva e os possíveis pontos de alimentação estão na torre de ciclones, no pré-calcinador e na caixa de fumaça. Já para lodos secos a umidades menores que 30%, o resíduo é considerado sólido e sua dosagem pode ser feita por meio de equipamentos como correias transportadoras e sistemas integrados de alimentação e dosagem automáticos na caixa de fumaça, pré-calcinador e maçarico principal do forno, respeitando os limites máximos de granulometria de cada um desses pontos. O lodo seco pode ainda ser alimentado e misturado ao coque, no CSS, em pontos de alimentação no pré-calcinador e maçarico principal, pois a granulometria é semelhante ao coque por passar pelo moinho de combustível e então é dosado no sistema.

Para serem considerados substitutos de energia, além da umidade adequada para cada ponto de alimentação no forno e torre de ciclones, os lodos precisam apresentar poder calorífico que esteja de acordo com os limites mínimo exigidos pela legislação brasileira e atender aos padrões exigidos de cada cimenteira. As amostras de lodos estudadas, secadas à umidades para diferentes pontos de alimentação no sistema, na forma de resíduo pastoso e resíduo sólido, apresentaram poder calorífico adequado e próximos dos resultados encontrados na revisão bibliográfica apresentada neste estudo.

Sobre o lodo de esgoto digestado, cujo poder calorífico tende a diminuir após a digestão anaeróbia, optou-se por secá-lo a umidades menores que 5%, a fim de se obter o maior poder calorífico valorizando o lodo frente ao PCS do coque. O percentual de substituição térmica para um PCS de 4.100 kcal/kg é em massa de 1: 2, ou seja, a cada tonelada de coque retirada é necessário alimentar 2 t de resíduo.

As amostras de lodos estudados, mostraram que com a secagem e redução da umidade, os ganhos energéticos são proporcionais ao PCS obtido, com resultados de ganhos em substituição térmica e ganhos em massa de combustível principal. Salienta-se que os ganhos de substituição e de massa devem ser mensurados conforme as especificações técnicas de cada forno, considerando a produção de clínquer e o consumo térmico do forno, bem como PCS do combustível principal.

Os laudos completos de caracterização dos lodos de esgoto in natura e digestado mostraram que os resultados dos parâmetros avaliados estão adequados ao atendimento das legislações dos estados do Paraná, CEMA 76/2009 e Minas Gerais, DN 154/2010 e, portanto, passíveis de solicitação de licenciamento e/ou autorização ambiental para uso nas cimenteiras. Diante desta análise e para a viabilização da pesquisa efetuada em uma cimenteira da região do Paraná, é necessário a obtenção da autorização ambiental junto ao Instituto Ambiental do Paraná para o uso do lodo de esgoto digestado seco como substituto de combustível via tecnologia de coprocessamento.

Para o teste de 20 t de lodo de esgoto digestado seco realizado na cimenteira, foram definidos como pontos de alimentação o pré-calcinador e maçarico principal, alimentados simultaneamente pela mistura de coque, CSS e lodo. O ganho estimado em energia com o uso das 20 t alimentadas no teste, considerando um forno de 3.000 t/dia de produção de clínquer, 820 kcal/kg de clínquer de consumo térmico e

com o PCS do lodo de esgoto digestado de 2.800 kcal foi de 2,27%. Foi observado que este percentual pode ser ainda maior, alimentando um volume maior de lodo de esgoto digestado e/ou dosando lodos com umidades menores e consequentemente com um maior poder calorífico.

O poder calorífico é uma grandeza inversamente proporcional a umidade e quanto mais próximo do PCS do coque for o PCS do lodo, melhor sua aceitação na cimenteira e mais fácil a sua dosagem pela escolha de diferentes pontos possíveis de alimentação. Os lodos estudados, cujas umidades chegaram a valores menores que 5%, apresentaram poder calorífico de 4.100 kcal/kg para o lodo de esgoto in natura e 3.850 kcal/kg para o lodo de esgoto digestado, praticamente metade do PCS do coque.

Conclui-se que o emprego de lodo de esgoto digestados e in natura se apresentam viáveis para a destinação em fornos de clínquer pelo emprego da tecnologia do coprocessamento como substitutos energéticos.

REFERÊNCIAS

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland. **Estatísticas**. São Paulo, 2016
Disponível em: <<http://coprocessamento.org.br/estatisticas>>.

ABCP(b) Associação Brasileira de Cimento Portland. **Coprocessamento aproveita diferentes tipos de resíduos**. São Paulo, 2018. Disponível em:
<<http://www.abcp.org.br/cms/artigos>>.

ABREU, A.H.M, et al. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. Artigo técnico, Seminário: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 4, suplemento 1, p. 2433-2448, 2017. Rio de Janeiro, 2017.

AFONSO, R. **Coprocessamento de resíduos da indústria do Petróleo em fornos de cimento**. (Especialização em Engenharia Ambiental), UFPR. Curitiba, 2006.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono: caderno 3: nota técnica cimento. São Paulo, 2012.

ALMEIDA, V, et al. Caracterização química como alternativa de destinação ao uso agrícola do lodo da estação de tratamento de esgoto do Município de Anápolis, Estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** (2017): 4(7): 87-98. Anápolis.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Co-processamento – Coletânea de Trabalhos Técnicos**. Volumes 1, 2 e 3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS =). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BATTAGIN A. **Uma breve história do cimento Portland**. ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Folheto coprocessamento, 2009. Disponível em: <www.abcp.org.br>.

BAIDYAA, R; GHOSH, S.K., PARLIKAR, U. V. Co-processing of industrial waste in cement kiln – a robust system for material and energy recovery. **The Tenth International Conference on Waste Management and Technology** (ICWMT). Mumbai, 2016.

BETTIOL, Wagner e CAMARGO, Otávio. **Lodo de esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. EMBRAPA Meio Ambiente. Jaguariuna, São Paulo, 2006.

BILITEWSKI, B. **Mechanical-biological Treatment of Waste in Germany.** Management and Environment Waste Management and Environment-Integrating Management. INTECUS, Germany, 2014.

BITTENCOURT, Simone. Regulamentação brasileira quanto à frequência de monitoramento de lodo de esgoto para uso agrícola: estudo de caso do estado do Paraná. Artigos técnicos. **Revista DAE**. 2016.

BITTENCOURT, S., AISSE, M. M e SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. Artigo técnico. **Eng. Sanit. Ambient.** vol.22 no.6 Rio de Janeiro Nov./Dec. 2017. SCIELO.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Lei Federal nº 12.305., Brasília, 2 de agosto de 2010.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto** /Probiogás. Organizadores: Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Brasília, 2010.

BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.** Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil. 2. ed. Brasília, 2014.

BRITO, O., ALVES, F. Co-processamento não pode ser usado indistintamente – **Revista de Saneamento Ambiental** – São Paulo – V. 6, N. 33, p 14-20 – 1995.

CAO, H, Liu, J. et al. The Property of Lime Sewage Sludge and its Influence on Co-Processing in Cement Kilns. **Pol. J. Environ. Stud.** Vol. 25, No. 3 (2016), 959-971, Shangay, 2016.

CASTRO, A. L. F. G., SILVA, O. R., Scalize, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 2, p. 66-73, 2015. Disponível em: <<https://www.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/multiscience/article/view/84/48>>. Acesso em: 16 janeiro. 2018.

CE - Comunidade Européia, Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, **Relativa a resíduos e que revoga certas diretivas.** Disponível em <<http://eur-lex.europa.eu>>.

CEMA. Conselho Estadual Do Meio Ambiente. **Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético.** Resolução 76. Curitiba, 2009.

CEMBUREAU. The European Cement Association. **Activity Report** , 2017. Brussels 2017. Disponível em: <<http://www.cembureau.eu>>. Acesso em: Janeiro, 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - **Procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer– P4. 263/03** São Paulo dezembro de 2003.

CEMNET. **International cement review**. Disponível em: <<https://www.cemnet.com/Publications/international-cement-review>>. Acesso em: janeiro, 2017.

CHATZIARAS, N. et al. Use of waste derived fuels in cement industry: a review, Management of Environmental Quality: An **International Journal**, Vol. 27 Iss 2 pp. 178 – 193. Nova York, 2016.

CHINA ENERGY GROUP, Sewage Sludge Use in Cement Companies as an Energy Source. Disponível em <<https://china.lbl.gov/tools/sewage-sludge-use-cement-companies-energy>>. Acesso em 13 de fevereiro, 2018.

CIESLIK, M. B; NAMIESNIK, J., KONIECZK, P. Review of sewage management standards, regulations and analytical methods. **Jornal of cleaner production**. Polonia, 2014.Elsevier.

COMBUSTECH. **Queimadores Fornos Rotativos**. Disponível em <<http://www.combustech.com.br/pt-br/produtos/queimadores-fornos-rotativos>>. São Paulo, 2018. Acesso em fevereiro, 2018.

CONAMA. Conselho Nacional Do Meio Ambiente, **Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos**, Resolução 264, 1999.

CONSEMA. Conselho Estadual Do Meio Ambiente. **Licenciamento ambiental para coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Resolução 002. Porto Alegre 2010.

COPAM, Conselho Estadual De Política Ambiental Conselho Estadual De Política Ambiental. **Deliberação Normativa 154/2010**. Belo Horizonte. Agosto de 2010. Disponível em: <www.siam.mg.gov.br>.

COPASA. Disponível em<[http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/releases/2011/junho/noticias-20110613-ie2042/!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwdPby9Dbz8gzzdDBY9g_zd_T2dgvx8zfULsh0VAfwq3lw!/>](http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/releases/2011/junho/noticias-20110613-ie2042/!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwdPby9Dbz8gzzdDBY9g_zd_T2dgvx8zfULsh0VAfwq3lw!/). Montes Claros, MG. 2011. Acesso em fevereiro, 2018.

COSTA, João Miguel Bandeira. **Coprocessamento de CDR no processo de produção de cimento**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica. Lisboa, 2014.

CSI, CEMENT SUSTAINABILITY INICIATIVE. Guidelines for Co-processing Fuels and Raw Materials in Cement Manufacturing. Disponível em: <<http://www.wbcdcement.org>> Acesso em janeiro, 2017.

CSI ² CEMENT SUSTAINABILITY INICIATIVE. **CO2 and Climate Protection**. Disponível em: <<https://www.wbcdcement.org/index.php/key-issues/climate-protection>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

DALMORO, 2017. Disponível em: <<http://dalmoro.com.br/produtos/63-luva-latex-neoprene-neomix-ama-az>> Acesso em fevereiro de 2017.

ECB – European Chemical Bureau – Disponível em: <<http://ecb.jrc.ec.europa.eu.>> Acesso em: dezembro 2016

ECOFFIZ, C. Market opportunities for use of alternative fuels in cement plants across the EU. Germany, 2016. Relatório técnico. ENWB. Co Incineration in EnWb - Energie Baden- Wurttemberg Trabalho apresentado na **9º Curso de Extensão Internacional na Alemanha em meio ambiente**. Universitat Stuttgart, Stuttgart, 2017.

ENFIL. **Processo para secagem de lodo utilizando energia solar**. Disponível em <<http://www.enfil.com.br/news/22/processo-ist-para-secagem-de-lodo-utilizando-energia-solar>>. Germany, 2017.

EURITIS – European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste. Disponível em: <<http://www.incineration.info/home>>

FISCHER K. **Tratamento Térmico: Gerenciamento e Tratamento de Resíduos**, Disciplina do Mestrado Profissionalizante em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2017. Notas de aula.

FITYLI, D. A. Utilization of sewage sludge in eu application of old and new methods – a review. **Renewable & sustainable energy reviews**. Science direct. Greece, 2006.

FLMIDTH. **Production cost saving by using coarse alternative fuels**. Augsburg, German, 2017.

GOMES, F.C.S.P et al. Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias. **Eng. Sanit. Ambient.** [online]. 2012, vol.17, n.3, pp.295-304.

GUIMARÃES, A. G. **Coprocessamento de Resíduos Perigosos em uma indústria Cimenteira no Brasil**: A percepção dos trabalhadores e aspectos de saúde ocupacional. Dissertação de mestrado em Cidadania Ambiental e Participação. Universidade aberta. Lisboa, 2015.

HASANBEIJI, A., HONGYOU, L., WILLIAMS, C., PRICE, L.. **International Best Practices for PreProcessing and Co-Processing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in the Cement Industry**. This work was supported by the U.S. Environmental Protection Agency and the Institute for Industrial Productivity through the U.S. Department of Energy under Contract. China, 2012.

HAIBING, I., et al. Industrial Practice of Sewage Sludge Pump directly into Cement. f 1 Beijing Building Materials Academy of Science Research/State Key Laboratory of Solid Waste. **International Conference on Advances in Energy and Environmental Science** (ICAEEES 2015. BEIJING, 2015.

HAUSARBEITEN. Disponível em: <<https://www.hausarbeiten.de/document/130347>>.

HERZEL, H, et al. **Sewage sludge ash** — A promising secondary phosphorus source for fertilizer production. Germany, 2016.

HUBER. **Secagem Solar e Regenerativa**. Disponível em <www.huber-technology.com.br/fileadmin/huber-br/documents/srt_br.pdf>. Acesso em: fevereiro, 2018.

IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, instrução normativa nº 1, Brasília, 2013.

JANZEN, K. **Avaliar a possibilidade da destinação de resíduos industriais gerados no Brasil pelo modelo de coprocessamento utilizado em fornos de clínquerização na Alemanha**. 127 f. Dissertação (Mestrado em meio ambiente urbano e industrial) – Setor de engenharia química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

JENNEWEIN, T. **Loosening the link to fossil fuels cuts costs, provides new alternative**. FLSmidth. ELSEVIER, Germany, volume 542, Part B, 15 January 2016, Pages 1136-1143.

JENNEWEIN, T. Loosening the link to fossil fuels cuts costs, provides new alternative. Germany, 2014. **ELSEVIER**, Volume 542, Part B, 15 January 2016, P.1136-1143

KARSTENSEN, K. H. **Formação e Emissão de POPs pela Indústria de Cimento**. SINTEF – Fundação para a Pesquisa Científica e Industrial da Noruega para World Business Council for Sustainable Development - Cement Sustainability Initiative, Rima Editora, São Paulo, Janeiro de 2006.

KELESSIDIS, A. Comparative study of the metod used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. Contents lists available at **Sci Verse Science Direct. Wastmanagement. Jornal**. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/wasman>. Greece, Water and Air Quality Laboratory, Department of Environment, University of the Aegean, University Hill, 81100 Mytilene, Greece, 2012.

KHD - Humboldt Wedag International Koln, 2013. Disponível em: <<http://www.khd.com/bypass-systems.html>>.

KIHARA¹, Y. **A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em dezembro, 2016.

KIHARA², Y. Impacto da Normalização do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5, São Paulo, novembro, 1999. **Anais...**São Paulo, 1999.

KIHARA³, Y. **A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em dezembro, 2016.

LAFARGEHOLCIM. Processo de fabricação de cimento. Disponível em <<https://www.lafargeholcim.com.br/cimento>>. Acesso em fevereiro, 2018.

LAVEZZO, L.F., et al. Atividade da protese em solos com 18 anos de aplicações anuais de lodo de esgoto. **I CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA AGROPECUÁRIA, AGRÍCOLA E AMBIENTAL (CBMAAA)** 09 a 12 de maio de 2016 - Centro de Convenções da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP.

LEITE, W., et al. Análise comparativa dos efeitos da carga orgânica e do tempo de detenção hidráulica na digestão anaeróbia mesofílica de lodo adensado de estação de tratamento de esgoto. 581 **Eng Sanit Ambient** | v.20 n.4 | out/dez 2015 | 581-588. Artigo técnico. Florianópolis, 2015.

LI, Y., et al. Co-Processing Sewage Sludge in Cement Kiln in China. **Journal of Water Resource and Protection**, Wuhan, China. Julho, 2013.

LORENCETTI, M. R.; MARÇAL, R. Avaliação da resistência à compressão do concreto pela substituição parcial do cimento Portland por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. **ANAP Brasil revista científica**. 2017.

MACHADO, D.O., OLIVEIRA.S. **A Política Nacional de Resíduos Sólidos e a responsabilidade dos municípios**. 2014.

MATHIEU B. Co-processing of biomass in Heidelberg cement. In: Workshop EUBIONET III. **Anais...**Brussels, 2009.

MONTENEGRO, P. M. **Compostos orgânicos no coprocessamento**. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – UNICAMP, Campinas SP, 2006.

MORETTI, S., et al. Decomposição de Lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em Nitossolo Háplico. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:1796-1805, 2015.

MUT, M. D. M., et al. Review: Circulation of Inorganic Elements in Combustion of Alternative Fuels in Cement Plants. **Energy and Fuels**, 29(7), 4076-4099. DOI: 10.1021/ef502633u. Dinamarca, 2015.

NRW UMWELT- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen - **Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in NordrheinWestfalen - 2.** Auflage Düsseldorf, September 2005.

PEREIRA, A. e GARCI, M. Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. **Eng. Sanit. Ambient**. vol.22 no.3 Rio de Janeiro May/June. 2017 Scielo.

PRIES¹, R. **Coprocessamento de pneus inservíveis**. In: II Simpósio MAUI - Brasil-Alemanha – Meio Ambiente Urbano e Industrial, com o tema “Resíduos Sólidos: minimização e valorização. **Anais...**Curitiba, 2016.

PRIES², R. **Riscos químicos no processo de blendagem de resíduo industriais para coprocessamento**. (Monografia de especialização em segurança do trabalho). UTFPR, Curitiba, 2017.

PRIES³, R. et al. **Panorama dos recursos energéticos não renováveis no Brasil e no Mundo**. 3º simpósio MAUI qualidade do ar: gestão e monitoramento. **Anais...**, Curitiba, 2018.

PROAMB. **Mais Coprocessamento**. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br/mais-coprocessamento>>. Acesso em: fevereiro, 2018.

RAL. Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. - RAL-GZ724 – **Gütezeichen Güte - und Prüfbestimmungen für Sekundärbrennstoffe, Bundesgütegemeinschaft für Sekundärbrennstoffe e.V.**, Sankt Augustin, Juni 2001.

RAMOS, M. **Estudo da Formação, Emissão e Dispersão de Poluentes na Atmosfera Originários do Coprocessamento de Resíduos em Fábricas de Cimento**. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Itajubá, 2015.

RIVERO, M; SOLERA, PEREZ, R. M. Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge with glycerol: Enhanced biohydrogen production. Department of Environmental Technologies, Faculty of Sea and Environmental Sciences, University of Cadiz. **International journal of hydrogen energy**, 2013. Cadiz, 2013.

ROCHA, S.D.F.; LINS, V.F.C.; P. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Aceito: 21/01/11 – Reg. ABES.

RODRIGUES, D.C.Q; SOARES JR., A.P.; COSTA JR., et al. **Modelagem matemática dos perfis de temperatura do gás, do sólido e da parede do forno e dos perfis de concentração das principais espécies químicas presentes no interior do forno rotativo empregado na produção de clínquer**.

ROSA, A. P. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes *Laboreaux* (Itabira). **Eng. Sanit. Ambient.** vol.21 no.2 Rio de Janeiro Apr. /June 2016 Epub June 20, 2016. Scielo.

ROTTER V.S et al. New techniques for the characterization of refuse-derived fuels and solid recovered fuels. **Waste Management & Research**. 29(2) 229–236. Berlim, 2011.

SAMOLADA, M. C, ZABANIOTOU, A.A. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gaseification and pyrolysis for a sustainable sludge – Energy Management. Geece. **Jornal ELSEVIER**. University of thessaloniki, depts chemical engineering.

SANEPAR. **Sanepar em Números**. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/sanepar-em-numeros>>. Acesso em: fevereiro de 2018.

SANEPAR. (2012) **Relatório de administração e demonstrações contábeis**. Curitiba: Sanepar. 69 p. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/relatorio_demonstracoes_contabeis_2012_b.pdf>. Acesso em: fev. 2018.

SCHWENCK. **Coprocessing in Allmendingen SCHWENCK zementindustrie:** Trabalho apresentado no 9º Curso de Extensão Internacional na Alemanha em meio ambiente. Universität Stuttgart, Allmendingen, 2017.

SECIL, **Audiência Pública.** Dados obtidos da apresentação. Adrianópolis/Paraná, 2017.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **História do Cimento no Brasil.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em :< <http://snic.org.br/> >. Acesso em: 12 de março de 2018.

SILVA¹, R. J., M. N. BELATO e A. O. LOPES. Coprocessamento de pneus usados e resíduos de rerrefino de óleos lubrificantes usados em fornos de clínquer. COBEQ, congresso brasileiro de engenharia química. **Anais...** Florianópolis, 2014.

SILVA², E.J.S., et al. **Produção de metano a partir de manipueira e lodo de ETE.** Florianópolis, 2014. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA³, C.C. **Proposta de biodigestor anaeróbio para a codigestão dos lodos gerados na ETE Brasília Norte e Resíduos sólidos Urbanos.** Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental. Brasília, 2016. Universidade de Brasília.

STADLER, K.S., POLAND, J. e GALLESTEY, E. Model Predictive Control of a Rotary Cement Kiln, **Control Engineering Practice** 19 (2011) 1-9, Elsevier.

TAO, J.; SUN, L.; TAN, X.; YUS ZHANG, Z. Composition of waste sludge from municipal wastewater treatment plant. **Procedia Environmental Sciences**, v.12, 2012.

TISSOT, M. Soluções para gerenciamento, valorização e destino final de resíduos-coprocessamento em fornos de cimento. In: II Simpósio MAUI - Brasil-Alemanha – Meio Ambiente Urbano e Industrial, com o tema “Resíduos Sólidos: minimização e valorização. **Anais...**Curitiba, 2016.

VDZ - Verein Deutscher Zementwerke e. V. (Hrsg.) - Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2016, Dusseldorf. Agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.vdzonline.de>>

VISEDO, G. ROADMAP ABCP e SNIC. In: Seminário de Coprocessamento de Resíduos na Indústria de Cimento. **Anais...**Curitiba, 2018.

7) A amostra de lodo de esgoto digestado seco enviada com seu laudo correspondente, está adequada ao uso na cimenteira?

() Sim

() Não

8) Se sim para a questão 7, qual seria o ponto de alimentação mais adequado?

() Caixa de fumaça

() Pré- calcinador

() Maçarico principal

() CSS via moagem de combustível

9) Se sim para as questões 5 e 7, quais os equipamentos indicados para a alimentação do resíduo no sistema forno + torre de ciclones?

10) Haveria algum impedimento para o recebimento de ambos os lodos na cimenteira?

Justificar

APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO 02 ORIENTATIVO PARA PESQUISA

**Questionário orientativo para blendelras que fazem blends/misturas de resíduos para posterior
Coprocessoamento de resíduos como substituto de combustível**

Assinalar com x a resposta mais adequada e/ou comentar a questão

1) Para quais linhas de alimentação nas cimenteiras a planta de blendagem prepara resíduos?

() Sólidos triturados

() Pastoso

() Líquidos

() CSS

2) Quais os parâmetros e limites para aceite de um resíduo na planta de blendagem, considerando resíduo pastoso/líquido e resíduo sólido?

3) A amostra de lodo de esgoto in natura para pastoso enviada com seu laudo correspondente, está adequada ao uso no blend?

() Sim

() Não

4) Se sim para a questão 3, qual seria o blend mais adequado para inserir o lodo in natura?

() Pastoso

() Líquido

() Resíduo triturado

() CSS

5) A amostra de lodo de esgoto digestado seco enviada com seu laudo correspondente, está adequada ao uso no blend?

() Sim

() Não

6) Se sim para a questão 5, qual seria o blend mais adequado para inserir o lodo seco digestado?

() Pastoso

() Líquido

() Resíduo triturado

() CSS

- 7) A indicação para o lodo seco seria alimentar via blend ou envio para alimentar na cimenteira de forma direta?
- 8) Haveria algum impedimento para o recebimento de ambos os lodos na cimenteira?
Justificar

ANEXO 1 – LAUDO AMOSTRA 01



Relatório de Ensaio

Nº.: 00113150-004-244379/32.17

Página 1 de 2

Dados referentes ao Cliente

ID Cliente: 13708

Cliente: CS BIOENERGIA S.A.

CNPJ: 20.595.947/0001-08

Endereço: AV DAS AMERICAS PARQUE NAUTICO, 0 - SAO JOSE DOS PINHAIS - PR / CEP: 83030-640

Descrição da Amostra

Identificação da Amostra: AMOSTRA 95%

Tipo da Amostra: Resíduo Industrial

Local de Coleta: AVENIDA DAS AMÉRICAS, SN - TRÊS MARIAS

Coletador: Empresa solicitante

Data da Coleta: 03/07/2017 12:00

Temperatura da Amostra: NA °C

Temperatura do Ar: NA °C pH: --

Condições Ambientais: Tempo bom

Data de Recebimento: 03/08/2017

Responsável pelo plano de amostragem: Empresa solicitante

Plano de Amostragem: -

Procedimento de Amostragem: -

Observações:

--

Resultados da Amostra

PARÂMETROS	UND.	RESULTADOS	L.Q.	MÉT. *	DIGITADO EM
Umidade	%	< 1,0	1	86	18/08/2017 13:37
Poder Calorífico Superior	Kcal/Kg	4196,8	150	149	18/08/2017 13:37

* MÉT. - Métodos dos Ensaio.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
86	SMWW 22A ED. MÉTODO 2540-G
149	ASTM - 240-87

Legenda:

L.Q. - Limite de Quantificação, UND. - Unidade, Na - Não Aplicável, Ni - Não informado, MÉT. * - Métodos de Análises, SMWW - Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater 22 Edição 2012

I.M. - Incerteza de medição

Informações:

- 1) Este relatório somente pode ser reproduzido em sua forma integral.
- 2) Os resultados expressos neste relatório se referem exclusivamente a amostra acima identificada.
- 3) A incerteza expandida de medição relatada (U) é declarada como incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência "k", o qual para a distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

Liberado e Assinado
Eletronicamente

Laudo Modelo V2



Viamao, 18/08/2017

- Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente as amostra ensaiadas e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

FOR 049 rev. 2

Data de Emissão: 04/11/2016

Autoridade Emitente: Gerente da Qualidade



Relatório de Ensaio

Nº.: 00113150-004-244379/32.17

Página 2 de 2

Dados referentes ao Cliente

ID Cliente: 13708

Cliente: CS BIOENERGIA S.A.

CNPJ: 20.595.947/0001-08

Endereço: AV DAS AMERICAS PARQUE NAUTICO, 0 - SAO JOSE DOS PINHAIS - PR / CEP: 83030-640

Descrição da Amostra

Identificação da Amostra: AMOSTRA 95%

Tipo da Amostra: Resíduo Industrial

Local de Coleta: AVENIDA DAS AMÉRICAS, SN - TRÊS MARIAS

Coletador: Empresa solicitante

Data da Coleta: 03/07/2017 12:00

Temperatura da Amostra: NA °C

Temperatura do Ar: NA °C pH: --

Condições Ambientais: Tempo bom

Data de Recebimento: 03/08/2017

Responsável pelo plano de amostragem: Empresa solicitante

Plano de Amostragem: -

Procedimento de Amostragem: -

Observações:

ENG. EDU RICARDO BELTRAME
RESPONSÁVEL TÉCNICO
CRQ - 05301723

FINAL DO RELATÓRIO

GIOVANI ZANDONÁ
SIGNATÁRIO AUTORIZADO

Liberado e Assinado
Eletronicamente

Laudo Modelo V2



Viamão, 18/08/2017

- Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente as amostra ensaiadas e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

FOR 049 rev. 2

Data de Emissão: 04/11/2016

Autoridade Emitente: Gerente da Qualidade

ANEXO 2 – LAUDO AMOSTRA 02



Relatório de Ensaio

Nº.: 00113150-005-244380/32.17

Página 1 de 2

Dados referentes ao Cliente

ID Cliente: 13708

Cliente: CS BIOENERGIA S.A.

CNPJ: 20.595.947/0001-08

Endereço: AV DAS AMERICAS PARQUE NAUTICO, 0 - SAO JOSE DOS PINHAIS - PR / CEP: 83030-640

Descrição da Amostra

Identificação da Amostra: AMOSTRA 05.06/07

Tipo da Amostra: Resíduo Industrial

Local de Coleta: AVENIDA DAS AMÉRICAS, SN - TRÊS MARIAS

Coletador: Empresa solicitante

Data da Coleta: 06/07/2017 09:00

Temperatura da Amostra: NA °C

Temperatura do Ar: NA °C

pH: --

Condições Ambientais: Tempo bom

Data de Recebimento: 03/08/2017

Responsável pelo plano de amostragem: Empresa solicitante

Plano de Amostragem: -

Procedimento de Amostragem: -

Observações:

Resultados da Amostra

PARÂMETROS	UND.	RESULTADOS	L.Q.	MÉT. *	DIGITADO EM
Umidade	%	25,7	1	86	18/08/2017 13:19
Poder Calorífico Superior	Kcal/Kg	3296,8	150	149	18/08/2017 13:19

* MÉT. - Métodos dos Ensaio.

CÓDIGO DESCRIÇÃO

86 SMWW 22A ED. Método 2540-G

149 ASTM - 240-87

Legenda:

L.Q. - Limite de Quantificação, UND. - Unidade, Na - Não Aplicável, Ni - Não informado, MÉT. * - Métodos de Análises, SMWW - Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater 22 Edição 2012

I.M. - Incerteza de medição

Informações:

1) Este relatório somente pode ser reproduzido em sua forma integral.

2) Os resultados expressos neste relatório se referem exclusivamente a amostra acima identificada.

3) A incerteza expandida de medição relatada (U) é declarada como incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência "K", o qual para a distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

Liberado e Assinado
Eletronicamente

Laudo Modelo V2



Viamao, 18/08/2017

- Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente as amostra ensaiadas e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

FOR 049 rev. 2

Data de Emissão: 04/11/2016

Autoridade Emitente: Gerente da Qualidade

R TORINO, Nº 161 - SANTA ISABEL - VIAMAO - RS / CEP: 94480-795 ECONSULTING PROJETOS E CONSULTORIA AMBIENTAL S/S

51 3435-2000 www.econsulting.com.br



Relatório de Ensaio

Nº.: 00113150-005-244380/32.17

Página 2 de 2

Dados referentes ao Cliente

ID Cliente: 13708

Cliente: CS BIOENERGIA S.A.

CNPJ: 20.595.947/0001-08

Endereço: AV DAS AMERICAS PARQUE NAUTICO, 0 - SAO JOSE DOS PINHAIS - PR / CEP: 83030-640

Descrição da Amostra

Identificação da Amostra: AMOSTRA 05.06/07

Tipo da Amostra: Resíduo Industrial

Local de Coleta: AVENIDA DAS AMÉRICAS, SN - TRÊS MARIAS

Coletador: Empresa solicitante

Data da Coleta: 06/07/2017 09:00

Temperatura da Amostra: NA °C

Temperatura do Ar: NA °C pH: --

Condições Ambientais: Tempo bom

Data de Recebimento: 03/08/2017

Responsável pelo plano de amostragem: Empresa solicitante

Plano de Amostragem: -

Procedimento de Amostragem: -

Observações:

ENG. EDU RICARDO BELTRAME
RESPONSÁVEL TÉCNICO
CRQ - 05301723

FINAL DO RELATÓRIO

GIOVANI ZANDONÁ
SIGNATÁRIO AUTORIZADO

Liberado e Assinado
Eletronicamente

Laudo Modelo V2



Viamão, 18/08/2017

- Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente as amostra ensaiadas e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

FOR 049 rev. 2

Data de Emissão: 04/11/2016

Autoridade Emitente: Gerente da Qualidade

ANEXO 3 – LAUDO AMOSTRA 03


RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 135408/2017-0
Processo Comercial Nº 10388/2017-1
DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	CS BIOENERGIA S.A.
Endereço:	Rua HEITOR STOCKLER DE FRANCA, 396 - SALA 1910 - CENTRO CIVICO - Curitiba - PR - CEP: 80.030-030 .
Nome do Solicitante:	Luciano Fedalto

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Lodo CS Secagem TS70 27-04 01		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	27/04/2017 10:00:00
Data da entrada no laboratório:	08/05/2017 09:27	Data de Elaboração do RRA:	15/05/2017

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	CEMA 76 - VMP
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	57,9	---
Alumínio	mg/kg	25	11700	---
Alumínio em %	% p/p	0,0025	1,17	---
Ferro	mg/kg	1	6420	---
Ferro em %	% p/p	0,0001	0,6421	---
Silício	mg/kg	5100	65400	---
Silício em %	% p/p	0,51	6,54	---
Cálcio	mg/kg	1300	9120	---
Cálcio em %	% p/p	0,13	0,9119	---
Potássio	mg/kg	50	2380	---
Potássio em %	% p/p	0,005	0,2378	---
Zinco	mg/kg	1	476	---
Zinco em %	% p/p	0,0001	0,0476	---
Bário	mg/kg	1	211	---
Bário em %	% p/p	0,0001	0,0211	---
Fósforo	mg/kg	25	12500	---
Fósforo em %	% p/p	0,0025	1,25	---
Cádmio	mg/kg	0,25	0,961	---
Cádmio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Mercurio	mg/kg	0,005	0,0487	10
Mercurio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Tálio	mg/kg	1	< 1	---
Tálio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Arsênio	mg/kg	1	< 1	---
Arsênio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Cobalto	mg/kg	1	2,72	---
Cobalto em %	% p/p	0,0001	0,0003	---
Níquel	mg/kg	1	18,4	---
Níquel em %	% p/p	0,0001	0,0018	---
Selênio	mg/kg	1	< 1	100
Selênio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Telúrio	mg/kg	5	< 5	---
Telúrio em %	% p/p	0,0005	< 0,0005	---
Antimônio	mg/kg	1	< 1	---
Antimônio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Cromo	mg/kg	1	60,6	5000
Cromo em %	% p/p	0,0001	0,0061	---
Estanho	mg/kg	1	< 1	---
Estanho em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Chumbo	mg/kg	1	18,7	5000
Chumbo em %	% p/p	0,0001	0,0019	---
Vanádio	mg/kg	1	10,7	---
Vanádio em %	% p/p	0,0001	0,0011	---
Óxido de Alumínio (Al2O3)	% p/p	0,0082	3,83	---



Parâmetros	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	CEMA 76 - VMP
Óxido de Ferro (Fe2O3)	% p/p	0,001	1,59	---
Óxido de Silício (SiO2)	% p/p	1,9	24,2	---
Óxido de Cálcio (CaO)	% p/p	0,31	2,20	---
Óxido de Magnésio (MgO)	% p/p	0,01	0,796	---
Óxido de Potássio (K2O)	% p/p	0,01	0,495	---
Óxido de Sódio (Na2O)	% p/p	0,012	0,109	---
Óxido de Fósforo (P2O5)	% p/p	0,0099	4,96	---
Óxido de Cobre (CuO)	% p/p	0,001	0,029	---
Óxido de Zinco (ZnO)	% p/p	0,001	0,102	---
Óxido de Lítio (Li2O)	% p/p	0,001	< 0,001	---
Óxido de Titânio (TiO2)	% p/p	0,001	0,009	---
Al2O3+Fe2O3+SiO2+CaO+MgO+K2O+Na2O	% p/p	1,9	33,2	---
F+P2O5+CuO+ZnO+LiO2+TiO2	% p/p	0,0099	5,10	---
Cd + Hg + Tl	mg/kg	1,505	< 1,505	200
As + Co + Ni + Se + Te	mg/kg	9	24,5	5000
Magnésio	mg/kg	50	2780	---
Magnésio em %	% p/p	0,005	0,2779	---
Sódio	mg/kg	50	470	---
Sódio em %	% p/p	0,005	0,0470	---
Cobre	mg/kg	1	132	---
Cobre em %	% p/p	0,0001	0,0132	---
Lítio	mg/kg	1	1,01	---
Lítio em %	% p/p	0,0001	0,0001	---
Titânio	mg/kg	1	31,6	---
Titânio em %	% p/p	0,0001	0,0032	---
Cloro	mg/kg	500	< 500	---
Cloro em %	% p/p	0,05	< 0,05	---
Fluór	mg/kg	100	165	---
Fluór em %	% p/p	0,01	0,0165	---
Poder Calorífico Superior	kcal/kg	150	2540	---
Umidade	% p/p	0,05	42,1	---
Enxofre	mg/kg	500	10000	---
Enxofre em %	% p/p	0,05	1,00	---
Fluoreto	mg/kg	0,8	1,64	---

CEMA 76 - VMP Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento

Notas

"Mérieux NutriSciences" é nome fantasia, a razão social permanece Bioagri Ambiental Ltda.
LQ / Faixa = Limite de Quantificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 135408/2017-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 135408/2017-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento podemos observar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Obs: A interpretação foi baseada nos parâmetros com VMP contemplados na tabela desse Relatório de Ensaio.

Chave de Validação: 41962d674bce532e9c2b220ae935d484

Bruna Alexandre
Bruna Alexandre
Controle de Qualidade
CRQ 04267125 - 4ª Região

Marcos Ceccatto
Marcos Ceccatto
Diretor Técnico
CRQ 04364387 - 4ª Região



RELATÓRIO DE ENSAIO N° 135408/2017-0 - Piracicaba
Processo Comercial N° 10388/2017-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	CS BIOENERGIA S.A.
Endereço:	Rua HEITOR STOCKLER DE FRANCA, 396 - SALA 1910 - CENTRO CIVICO - Curitiba - PR - CEP: 80.030-030 .
Nome do Solicitante:	Luciano Fedalto

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Lodo CS Secagem TS70 27-04 01		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	27/04/2017 10:00:00
Data da entrada no laboratório:	08/05/2017 09:27	Data de Elaboração do RE:	15/05/2017

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	Incerteza	CEMA 76 - VMP	Data do Ensaio
Porcentagem de Sólidos	---	% p/p	0,05	57,9	5,8	---	10/05/2017 15:49
Alumínio	7429-90-5	mg/kg	25	11700	1800	---	11/05/2017 11:21
Alumínio em %	7429-90-5	% p/p	0,0025	1,17	0,18	---	11/05/2017 11:21
Ferro	7439-89-6	mg/kg	1	6420	960	---	11/05/2017 11:21
Ferro em %	7439-89-6	% p/p	0,0001	0,6421	0,096	---	11/05/2017 11:21
Silício	7440-21-3	mg/kg	5100	65400	9800	---	11/05/2017 11:21
Silício em %	---	% p/p	0,51	6,54	0,98	---	11/05/2017 11:21
Cálcio	7440-70-2	mg/kg	1300	9120	1400	---	11/05/2017 11:21
Cálcio em %	7440-70-2	% p/p	0,13	0,9119	0,14	---	11/05/2017 11:21
Potássio	7440-09-7	mg/kg	50	2380	360	---	11/05/2017 11:21
Potássio em %	7440-09-7	% p/p	0,005	0,2378	0,036	---	11/05/2017 11:21
Zinco	7440-66-6	mg/kg	1	476	71	---	11/05/2017 11:21
Zinco em %	7440-66-6	% p/p	0,0001	0,0476	0,0071	---	11/05/2017 11:21
Bário	7440-39-3	mg/kg	1	211	32	---	11/05/2017 11:21
Bário em %	7440-39-3	% p/p	0,0001	0,0211	0,0032	---	11/05/2017 11:21
Cádmio	7440-43-9	mg/kg	0,25	0,961	0,14	---	11/05/2017 11:21
Cádmio em %	7440-43-9	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Mercurio	7439-97-6	mg/kg	0,005	0,0487	0,0073	10	11/05/2017 11:21
Mercurio em %	7439-97-6	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Tálio	7440-28-0	mg/kg	1	< 1	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Tálio em %	7440-28-0	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Arsênio	7440-38-2	mg/kg	1	< 1	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Arsênio em %	7440-38-2	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Cobalto	7440-48-4	mg/kg	1	2,72	0,41	---	11/05/2017 11:21
Cobalto em %	7440-48-4	% p/p	0,0001	0,0003	0,000045	---	11/05/2017 11:21
Níquel	7440-02-0	mg/kg	1	18,4	2,8	---	11/05/2017 11:21
Níquel em %	7440-02-0	% p/p	0,0001	0,0018	0,00027	---	11/05/2017 11:21
Selênio	7782-49-2	mg/kg	1	< 1	n.a.	100	11/05/2017 11:21
Selênio em %	7782-49-2	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Telúrio	13494-80-9	mg/kg	5	< 5	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Telúrio em %	---	% p/p	0,0005	< 0,0005	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Antimônio	7440-36-0	mg/kg	1	< 1	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Antimônio em %	7440-36-0	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Cromo	7440-47-3	mg/kg	1	60,6	9,1	5000	11/05/2017 11:21
Cromo em %	7440-47-3	% p/p	0,0001	0,0061	0,00092	---	11/05/2017 11:21
Estanho	7440-31-5	mg/kg	1	< 1	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Estanho em %	7440-31-5	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	11/05/2017 11:21
Chumbo	7439-92-1	mg/kg	1	18,7	2,8	5000	11/05/2017 11:21
Chumbo em %	7439-92-1	% p/p	0,0001	0,0019	0,00029	---	11/05/2017 11:21
Vanádio	7440-62-2	mg/kg	1	10,7	1,6	---	11/05/2017 11:21



Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	Incerteza	CEMA 76 - VMP	Data do Ensaio
Vanádio em %	7440-62-2	% p/p	0,0001	0,0011	0,00017	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Silício (SiO ₂)	---	% p/p	1,9	24,2	3,6	---	11/05/2017 11:21
Magnésio	7439-95-4	mg/kg	50	2780	420	---	11/05/2017 11:21
Magnésio em %	7439-95-4	% p/p	0,005	0,2779	0,042	---	11/05/2017 11:21
Sódio	7440-23-5	mg/kg	50	470	71	---	11/05/2017 11:21
Sódio em %	7440-23-5	% p/p	0,005	0,0470	0,0071	---	11/05/2017 11:21
Cobre	7440-50-8	mg/kg	1	132	20	---	11/05/2017 11:21
Cobre em %	7440-50-8	% p/p	0,0001	0,0132	0,002	---	11/05/2017 11:21
Lítio	7439-93-2	mg/kg	1	1,01	0,15	---	11/05/2017 11:21
Lítio em %	7439-93-2	% p/p	0,0001	0,0001	0,000015	---	11/05/2017 11:21
Titânio	7440-32-6	mg/kg	1	31,6	4,7	---	11/05/2017 11:21
Titânio em %	7440-32-6	% p/p	0,0001	0,0032	0,00048	---	11/05/2017 11:21
Cloro	7782-50-5	mg/kg	500	< 500	n.a.	---	11/05/2017 09:48
Cloro em %	---	% p/p	0,05	< 0,05	n.a.	---	11/05/2017 09:48
Fluor	14762-94-8	mg/kg	100	165	26	---	11/05/2017 09:48
Fluor em %	---	% p/p	0,01	0,0165	0,0026	---	11/05/2017 09:48
Poder Calorífico Superior	---	kcal/kg	150	2540	25	---	12/05/2017 16:42
Umidade	---	% p/p	0,05	42,1	4,2	---	10/05/2017 15:49
Enxofre	7704-34-9	mg/kg	500	10000	1500	---	11/05/2017 09:48
Enxofre em %	---	% p/p	0,05	1,00	0,15	---	11/05/2017 09:48
Fluoreto	16984-48-8	mg/kg	0,8	1,64	0,28	---	10/05/2017 15:50

CEMA 76 - VMP Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento

Notas

"Mérieux NutriSciences" é nome fantasia, a razão social permanece Bioagri Ambiental Ltda.

LQ / Faixa = Limite de Q quantificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

n.a. = Não Aplicável.

Incerteza = Incerteza expandida (U), que é baseada na incerteza padrão combinada, com um nível de confiança de 95% (k=2).

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Responsabilidade Técnica

Os ensaios foram realizados na unidade da Bioagri Ambiental Ltda. - Matriz, situada na Rua Aljovil Martini, 177/201, Bairro Dois Córregos, Cep. 14420-833, Piracicaba/SP, registrada no CRQ 4º Região sob nº 16082-F e responsabilidade técnica do profissional Marcos Donizete Ceccatto, CRQ nº 04364387, 4ª Região.

Referências Metodológicas

Poder Calorífico: POP PA 143 - Rev. 06

Porcentagem de Sólidos e Címas: POP PA 058 - Rev. 06

Cloro: Determinação: EPA 300.0: 1993 / Preparo: EPA 5050: 1994

Enxofre: Determinação: EPA 300.0: 1993 / Preparo: EPA 5050: 1994

Fluor: Determinação: EPA 300.0: 1993 / Preparo: EPA 5050: 1994

Ânions: EPA 300.0: 1993

Metais (ICP-OES): Determinação: EPA 6010 C: 2007 / Preparo: EPA 3051 A: 2007, 3052: 1996

Revisores

Marcos Ceccatto

Rogério Caldorin

André Alex Colletti

Josiane Maria Bulow

Chave de Validação: 41962d674bce532e9c2b220ae935d484

Bruna Alexandre
Bruna Alexandre
Controlador de Qualidade
CRQ 04267125 - 4ª Região

Marcos Ceccatto
Marcos Ceccatto
Diretor Técnico
CRQ 04364387 - 4ª Região



RELATÓRIO DE ENSAIO N° 135408/2017-0 - Complemento
Processo Comercial N° 10388/2017-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	CS BIOENERGIA S.A.
Endereço:	Rua HEITOR STOCKLER DE FRANCA, 396 - SALA 1910 - CENTRO CIVICO - Curitiba - PR - CEP: 80.030-030 .
Nome do Solicitante:	Luciano Fedalto

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Lodo CS Secagem TS70 27-04 01		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	27/04/2017 10:00:00
Data da entrada no laboratório:	08/05/2017 09:27	Data de Elaboração do RE:	15/05/2017

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	CEMA 76 - VMP	Data do Ensaio
Fósforo	7723-14-0	mg/kg	25	12500	---	11/05/2017 11:21
Fósforo em %	7723-14-0	% p/p	0,0025	1,25	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	---	% p/p	0,0082	3,83	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	---	% p/p	0,001	1,59	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Cálcio (CaO)	---	% p/p	0,31	2,20	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Magnésio (MgO)	---	% p/p	0,01	0,796	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Potássio (K ₂ O)	---	% p/p	0,01	0,495	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Sódio (Na ₂ O)	---	% p/p	0,012	0,109	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	---	% p/p	0,0099	4,96	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Cobre (CuO)	---	% p/p	0,001	0,029	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Zinco (ZnO)	---	% p/p	0,001	0,102	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Lítio (Li ₂ O)	---	% p/p	0,001	< 0,001	---	11/05/2017 11:21
Óxido de Titânio (TiO ₂)	---	% p/p	0,001	0,009	---	11/05/2017 11:21
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SiO ₂ +CaO+MgO+K ₂ O+Na ₂ O	---	% p/p	1,9	33,2	---	11/05/2017 11:21
F+P ₂ O ₅ +CuO+ZnO+Li ₂ O+TiO ₂	---	% p/p	0,0099	5,10	---	11/05/2017 11:21
Cd + Hg + Tl	---	mg/kg	1,505	< 1,505	200	11/05/2017 11:21
As + Co + Ni + Se + Te	---	mg/kg	9	24,5	5000	11/05/2017 11:21

CEMA 76 - VMP Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento

Notas

"Mérieux NutriSciences" é nome fantasia, a razão social permanece Bioagri Ambiental Ltda.
 LQ / Faixa = Limite de Q quantificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

Abreviação

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).
 Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Referências Metodológicas

Metais (ICP-OES): Determinação: EPA 6010 C: 2007 / Preparo: EPA 3051 A: 2007, 3052: 1996

Revisores

Rogério Caldorin

Bruna Alexandre
 Bruna Alexandre
 Controle de Qualidade
 CRQ 04267125 - 4ª Região

Marcos Ceccatto
 Marcos Ceccatto
 Diretor Técnico
 CRQ 04364387 - 4ª Região

Chave de Validação: 41962d674bce532e9c2b220ae935d484

ANEXO 4 – LAUDO AMOSTRA 04


RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA N° 382424/2017-0
 Processo Comercial N° 31169/2017-2
DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Monitore Eng Planejamento Ambiental Ltda
Endereço:	Rua Fernando Simas, 1177 - - Bigorriho - Curitiba - PR - CEP: 80.430-190 .
Nome do Solicitante:	Rejane Pries

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Lodo Digestado		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	22/12/2017 07:00:00
Data da entrada no laboratório:	22/12/2017 18:42	Data de Elaboração do RRA:	09/01/2018

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	CEMA 76 - VMP
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	98,9	---
Alumínio	mg/kg	25	23100	---
Alumínio em %	% p/p	0,0025	2,31	---
Ferro	mg/kg	25	16400	---
Ferro em %	% p/p	0,0025	1,64	---
Silício	mg/kg	26000	187000	---
Silício em %	% p/p	2,6	18,7	---
Cálcio	mg/kg	1300	19200	---
Cálcio em %	% p/p	0,13	1,92	---
Potássio	mg/kg	50	2490	---
Potássio em %	% p/p	0,005	0,2487	---
Zinco	mg/kg	25	1610	---
Zinco em %	% p/p	0,0025	0,1606	---
Bário	mg/kg	1	555	---
Bário em %	% p/p	0,0001	0,0555	---
Fósforo	mg/kg	1	18500	---
Fósforo em %	% p/p	0,0001	1,85	---
Cádmio	mg/kg	0,25	1,53	---
Cádmio em %	% p/p	0,0001	0,0002	---
Merúrio	mg/kg	0,005	0,1182	10
Merúrio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Tálio	mg/kg	1	< 1	---
Tálio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Arsênio	mg/kg	1	< 1	---
Arsênio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Cobalto	mg/kg	1	4,90	---
Cobalto em %	% p/p	0,0001	0,0005	---
Níquel	mg/kg	1	36,1	---
Níquel em %	% p/p	0,0001	0,0036	---
Selênio	mg/kg	1	< 1	100
Selênio em %	% p/p	0,0001	< 0,0001	---
Telúrio	mg/kg	5	< 5	---
Telúrio em %	% p/p	0,0005	< 0,0005	---
Antimônio	mg/kg	1	3,39	---
Antimônio em %	% p/p	0,0001	0,0003	---
Cromo	mg/kg	1	127	5000
Cromo em %	% p/p	0,0001	0,0127	---
Estanho	mg/kg	1	21,7	---
Estanho em %	% p/p	0,0001	0,0022	---
Chumbo	mg/kg	1	40,6	5000
Chumbo em %	% p/p	0,0001	0,0041	---
Vanádio	mg/kg	1	22,6	---
Vanádio em %	% p/p	0,0001	0,0023	---
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	% p/p	0,0048	4,42	---
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	% p/p	0,0036	2,38	---

Página 1 de 2 / R.R.A.: 382424/2017-0

Biosagri Ambiental - Unidade Piracicaba: Rua Aujovil Marini, 201 - Piracicaba - SP - falecom.amb.br@mxns.com

RG 080.01 (rev.00) - Emitido em 09.07.2015



Parâmetros	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	CEMA 76 - VMP
Óxido de Silício (SiO ₂)	% p/p	5,6	40,4	---
Óxido de Cálcio (CaO)	% p/p	0,18	2,72	---
Óxido de Magnésio (MgO)	% p/p	0,008	0,954	---
Óxido de Potássio (K ₂ O)	% p/p	0,0061	0,303	---
Óxido de Sódio (Na ₂ O)	% p/p	0,007	0,144	---
Óxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	% p/p	0,001	4,29	---
Óxido de Cobre (CuO)	% p/p	0,001	0,039	---
Óxido de Zinco (ZnO)	% p/p	0,0031	0,202	---
Óxido de Lítio (Li ₂ O)	% p/p	0,001	< 0,001	---
Óxido de Titânio (TiO ₂)	% p/p	0,001	0,010	---
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SiO ₂ +CaO+MgO+K ₂ O+Na ₂ O	% p/p	5,6	51,3	---
F+P ₂ O ₅ +CuO+ZnO+Li ₂ O+TiO ₂	% p/p	0,0031	4,55	---
Cd + Hg + Tl	mg/kg	1,505	2,12	200
As + Co + Ni + Se + Te	mg/kg	9	44,3	5000
Magnésio	mg/kg	50	5690	---
Magnésio em %	% p/p	0,005	0,5689	---
Sódio	mg/kg	50	1060	---
Sódio em %	% p/p	0,005	0,1059	---
Cobre	mg/kg	1	311	---
Cobre em %	% p/p	0,0001	0,0311	---
Lítio	mg/kg	1	3,17	---
Lítio em %	% p/p	0,0001	0,0003	---
Titânio	mg/kg	1	61,9	---
Titânio em %	% p/p	0,0001	0,0062	---
Cloro	mg/kg	500	1780	---
Cloro em %	% p/p	0,05	0,178	---
Flúor	mg/kg	100	< 100	---
Flúor em %	% p/p	0,01	< 0,01	---
Poder Calorífico Superior	kcal/kg	150	3850	---
Umidade	% p/p	0,05	1,13	---
Enxofre	mg/kg	500	6980	---
Enxofre em %	% p/p	0,05	0,698	---
Fluoreto	mg/kg	0,5	2,99	---

CEMA 76 - VMP Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento

Notas

"Mérieux NutriSciences" é nome fantasia, a razão social permanece Bioagri Ambiental Ltda.
LQ/ Faixa = Limite de Quantificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).
Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 382424/2017-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 382424/2017-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento podemos observar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Obs: A interpretação foi baseada nos parâmetros com VMP contemplados na tabela desse Relatório de Ensaio.

Chave de Validação: fda8347e4c19e57d22bc117f489bdc39

Gilceni Machado
Gilceni Machado
Controlador de Qualidade
CRQ 004481956 - 4ª Região

Joakane Maria Bilow
Joakane Maria Bilow
Gerente Técnica
CRQ 09200516 - 9ª Região



RELATÓRIO DE ENSAIO N° 382424/2017-0 - Piracicaba
Processo Comercial N° 31169/2017-2

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Monitore Eng Planejamento Ambiental Ltda
Endereço:	Rua Fernando Simas, 1177 - - Bigorrrilho - Curitiba - PR - CEP: 80.430-190 .
Nome do Solicitante:	Rejane Pries

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Identificação do Cliente:	Lodo Digestado		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	22/12/2017 07:00:00
Data da entrada no laboratório:	22/12/2017 18:42	Data de Elaboração do RE:	09/01/2018

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	Incerteza	CEMA 76 - VMP	Data do Ensaio
Porcentagem de Sólidos	---	% p/p	0,05	98,9	9,9	---	04/01/2018 08:05
Alumínio	7429-90-5	mg/kg	25	23100	3500	---	04/01/2018 13:52
Alumínio em %	7429-90-5	% p/p	0,0025	2,31	0,35	---	04/01/2018 13:52
Ferro	7439-89-6	mg/kg	25	16400	2500	---	04/01/2018 13:52
Ferro em %	7439-89-6	% p/p	0,0025	1,64	0,25	---	04/01/2018 13:52
Silício	7440-21-3	mg/kg	26000	187000	28000	---	04/01/2018 13:52
Silício em %	---	% p/p	2,6	18,7	2,8	---	04/01/2018 13:52
Cálcio	7440-70-2	mg/kg	1300	19200	2900	---	04/01/2018 13:52
Cálcio em %	7440-70-2	% p/p	0,13	1,92	0,29	---	04/01/2018 13:52
Potássio	7440-09-7	mg/kg	50	2490	370	---	04/01/2018 13:52
Potássio em %	7440-09-7	% p/p	0,005	0,2487	0,037	---	04/01/2018 13:52
Zinco	7440-66-6	mg/kg	25	1610	240	---	04/01/2018 13:52
Zinco em %	7440-66-6	% p/p	0,0025	0,1606	0,024	---	04/01/2018 13:52
Bário	7440-39-3	mg/kg	1	555	83	---	04/01/2018 13:52
Bário em %	7440-39-3	% p/p	0,0001	0,0555	0,0083	---	04/01/2018 13:52
Fósforo	7723-14-0	mg/kg	1	18500	2800	---	04/01/2018 13:52
Cádmio	7440-43-9	mg/kg	0,25	1,53	0,23	---	04/01/2018 13:52
Cádmio em %	7440-43-9	% p/p	0,0001	0,0002	0,00003	---	04/01/2018 13:52
Mercurio	7439-97-6	mg/kg	0,005	0,1182	0,018	10	04/01/2018 13:52
Mercurio em %	7439-97-6	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Tálio	7440-28-0	mg/kg	1	< 1	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Tálio em %	7440-28-0	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Arsênio	7440-38-2	mg/kg	1	< 1	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Arsênio em %	7440-38-2	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Cobalto	7440-48-4	mg/kg	1	4,90	0,74	---	04/01/2018 13:52
Cobalto em %	7440-48-4	% p/p	0,0001	0,0005	0,000075	---	04/01/2018 13:52
Níquel	7440-02-0	mg/kg	1	36,1	5,4	---	04/01/2018 13:52
Níquel em %	7440-02-0	% p/p	0,0001	0,0036	0,00054	---	04/01/2018 13:52
Selênio	7782-49-2	mg/kg	1	< 1	n.a.	100	04/01/2018 13:52
Selênio em %	7782-49-2	% p/p	0,0001	< 0,0001	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Telúrio	13494-80-9	mg/kg	5	< 5	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Telúrio em %	---	% p/p	0,0005	< 0,0005	n.a.	---	04/01/2018 13:52
Antimônio	7440-36-0	mg/kg	1	3,39	0,51	---	04/01/2018 13:52
Antimônio em %	7440-36-0	% p/p	0,0001	0,0003	0,000045	---	04/01/2018 13:52
Cromo	7440-47-3	mg/kg	1	127	19	5000	04/01/2018 13:52
Cromo em %	7440-47-3	% p/p	0,0001	0,0127	0,0019	---	04/01/2018 13:52
Estanho	7440-31-5	mg/kg	1	21,7	3,3	---	04/01/2018 13:52
Estanho em %	7440-31-5	% p/p	0,0001	0,0022	0,00033	---	04/01/2018 13:52
Chumbo	7439-92-1	mg/kg	1	40,6	6,1	5000	04/01/2018 13:52
Chumbo em %	7439-92-1	% p/p	0,0001	0,0041	0,00062	---	04/01/2018 13:52
Vanádio	7440-62-2	mg/kg	1	22,6	3,4	---	04/01/2018 13:52



Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	Incerteza	CEMA 76 - VMP	Data do Ensaio
Vanádio em %	7440-62-2	% p/p	0,0001	0,0023	0,00035	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Silício (SiO ₂)	---	% p/p	5,6	40,4	6,1	---	04/01/2018 13:52
Magnésio	7439-95-4	mg/kg	50	5690	850	---	04/01/2018 13:52
Magnésio em %	7439-95-4	% p/p	0,005	0,5689	0,085	---	04/01/2018 13:52
Sódio	7440-23-5	mg/kg	50	1060	160	---	04/01/2018 13:52
Sódio em %	7440-23-5	% p/p	0,005	0,1059	0,016	---	04/01/2018 13:52
Cobre	7440-50-8	mg/kg	1	311	47	---	04/01/2018 13:52
Cobre em %	7440-50-8	% p/p	0,0001	0,0311	0,0047	---	04/01/2018 13:52
Lítio	7439-93-2	mg/kg	1	3,17	0,48	---	04/01/2018 13:52
Lítio em %	7439-93-2	% p/p	0,0001	0,0003	0,000045	---	04/01/2018 13:52
Titânio	7440-32-6	mg/kg	1	61,9	9,3	---	04/01/2018 13:52
Titânio em %	7440-32-6	% p/p	0,0001	0,0062	0,00093	---	04/01/2018 13:52
Cloro	7782-50-5	mg/kg	500	1780	270	---	05/01/2018 16:49
Cloro em %	---	% p/p	0,05	0,178	0,027	---	05/01/2018 16:49
Flúor	14762-94-8	mg/kg	100	< 100	n.a.	---	05/01/2018 16:49
Flúor em %	---	% p/p	0,01	< 0,01	n.a.	---	05/01/2018 16:49
Poder Calorífico Superior	---	kcal/kg	150	3850	39	---	05/01/2018 16:49
Umidade	---	% p/p	0,05	1,13	0,11	---	04/01/2018 08:05
Enxofre	7704-34-9	mg/kg	500	6980	1000	---	05/01/2018 16:49
Enxofre em %	---	% p/p	0,05	0,698	0,1	---	05/01/2018 16:49
Fluoreto	16984-48-8	mg/kg	0,5	2,99	0,51	---	04/01/2018 08:04

CEMA 76 - VMP Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento

Notas

“Mérieux NutriSciences” é nome fantasia, a razão social permanece Bioagri Ambiental Ltda.

LQ/ Faixa = Limite de Quantificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

n.a. = Não Aplicável.

Incerteza = Incerteza expandida (U), que é baseada na incerteza padrão combinada, com um nível de confiança de 95% (k=2).

Laboratório cadastrado no IAP segundo número de documento IAPCCL 052

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Responsabilidade Técnica

Os ensaios foram realizados na unidade da Bioagri Ambiental Ltda. - Matriz, situada na Rua Aljovil Martini, 177/201, Bairro Dois Córregos, Cep. 14420-833, Piracicaba/SP, registrada no CRQ 4ª Região sob nº 16082-F e responsabilidade técnica do profissional Marcos Donizete Ceccatto, CRQ nº 04364387, 4ª Região.

Referências Metodológicas

Poder Calorífico: POP PA 143 - Rev. 06

Porcentagem de Sólidos e Cinzas: POP PA 058 - Rev. 06

Cloro: Determinação: EPA 300.0: 1993 / Preparo: EPA 5050: 1994

Enxofre: Determinação: EPA 300.0: 1993 / Preparo: EPA 5050: 1994

Fluor: Determinação: EPA 300.0: 1993 / Preparo: EPA 5050: 1994

Ânions: EPA 300.0: 1993

Metais (ICP-OES): Determinação: EPA 6010 C: 2007 / Preparo: EPA 3051 A: 2007, 3052: 1996

Revisores

Marcos Donizete Ceccatto

Rogério Caldorin

Josiane Maria Bulow

Chave de Validação: fdab347e4c19e57d22bc117f489bdc39

Gilceni Machado
Gilceni Machado
Controlador de Qualidade
CRQ 004481956 - 4ª Região

Josiane Maria Bulow
Josiane Maria Bulow
Gerente Técnica
CRQ 09200516 - 9ª Região



RELATÓRIO DE ENSAIO N° 382424/2017-0 - Complemento
Processo Comercial N° 31169/2017-2

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Monitore Eng Planejamento Ambiental Ltda
Endereço:	Rua Fernando Simas, 1177 - - Bigorrião - Curitiba - PR - CEP: 80.430-190 .
Nome do Solicitante:	Rejane Pries

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Lodo Digestado		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	22/12/2017 07:00:00
Data da entrada no laboratório:	22/12/2017 18:42	Data de Elaboração do RE:	09/01/2018

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	CEMA 76 - VMP	Data do Ensaio
Fósforo em %	7723-14-0	% p/p	0,0001	1,85	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	---	% p/p	0,0048	4,42	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	---	% p/p	0,0036	2,38	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Cálcio (CaO)	---	% p/p	0,18	2,72	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Magnésio (MgO)	---	% p/p	0,008	0,954	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Potássio (K ₂ O)	---	% p/p	0,0061	0,303	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Sódio (Na ₂ O)	---	% p/p	0,007	0,144	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	---	% p/p	0,001	4,29	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Cobre (CuO)	---	% p/p	0,001	0,039	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Zinco (ZnO)	---	% p/p	0,0031	0,202	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Lítio (Li ₂ O)	---	% p/p	0,001	< 0,001	---	04/01/2018 13:52
Óxido de Titânio (TiO ₂)	---	% p/p	0,001	0,010	---	04/01/2018 13:52
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SiO ₂ +CaO+MgO+K ₂ O+Na ₂ O	---	% p/p	5,6	51,3	---	04/01/2018 13:52
F+P ₂ O ₅ +CuO+ZnO+Li ₂ O+TiO ₂	---	% p/p	0,0031	4,55	---	04/01/2018 13:52
Cd + Hg + Tl	---	mg/kg	1,505	2,12	200	04/01/2018 13:52
As + Co + Ni + Se + Te	---	mg/kg	9	44,3	5000	04/01/2018 13:52

CEMA 76 - VMP Valores Máximos Permitidos pela Resolução CEMA 76 / 2009 - Resolução Coprocessamento

Notas

"Mérieux NutriSciences" é nome fantasia, a razão social permanece Bioagri Ambiental Ltda.
 LQ/ Faixa = Limite de Quantificação ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).
 Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Referências Metodológicas

Metais (ICP-OES): Determinação: EPA 6010 C; 2007 / Preparo: EPA 3051 A; 2007, 3052; 1996

Revisores

Rogério Caldorin

Chave de Validação: fdab347e4c19e57d22bc117f489bdc39

Gilceni Machado
 Gilceni Machado
 Controle de Qualidade
 CRQ 004481956 - 4ª Região

Joséane Maria Bülow
 Joséane Maria Bülow
 Gerente Técnica
 CRQ 09200516 - 9ª Região

ANEXO 5 –AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL

 PARANÁ GOVERNO DO ESTADO		 IAP INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ		Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA Instituto Ambiental do Paraná - IAP	
REQUERIMENTO DE AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL					
IDENTIFICAÇÃO DO REQUERENTE					
Nº do Requerimento 44401	Data de Cadastro 08/08/2017	Nº do Protocolo 14.962.159-8	Data do Protocolo 06/12/2017	Situação Deferido	
FINALIDADE DA AUTORIZAÇÃO					
Atividade Disposição final do resíduo					
Atividade Específica Co-processamento de resíduos industriais no paraná					
IDENTIFICAÇÃO DO AUTORIZADO					
CNPJ 20.595.947/0001-08		Razão Social CS BIOENERGIA S/A			
Atividade Tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos					
Detalhes da Atividade usina de triagem e tratamento de resíduos orgânicos e lodo sanitário da ete belém em biodigestor com aproveitamento energético do biogás para geração					
Coordenadas UTM (E-N) 679577.8 - 7176322.4		Logradouro e Número Avenida das Américas, S/N, Parque Náutico - ETE Belém		Município / UF São José dos Pinhais/PR	
Bacia Hidrográfica Iguaçu		Bairro Três Marias		CEP 83.030-640	
Responsável pelas Informações LUCIANO FEDALTO				Telefone ---	
CARACTERIZAÇÃO DA MODALIDADE					
Limite Normativo				Valor Informado	
Atende o Art. 1º, 2º e 3º da Res. CEMA 50/2005, quando proveniente de outros Estados da Federação?				Sim	
O(s) resíduo(s) em questão atende(m) o Art. 3º da Resolução CEMA 76/2009?				Sim	
DADOS DO RESÍDUO					
Código IBAMA:		190604			
Capítulo:		Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial			
Subcapítulo:		Resíduos do tratamento anaeróbio de resíduos			
Resíduo:		Lamas e lodos de digestores de tratamento anaeróbio de resíduos urbanos e equiparados			
Resíduo Específico:		Resíduo da prensa de lodo			
Quantidade / Ano:		12.000.000 kg			
Acondicionamento:		Bags; Caçambas; A Granel			
TRATAMENTO DO RESÍDUO					
Tipo de Tratamento		CNPJ	Razão Social	Município / UF	
Gerenciamento		13.244.668/0002-07	REVALORE COPROCESSAMENTO E ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE LTDA	Balsa Nova/PR	
Blendagem (Sólido, Pastosos e Líquido)		17.604.136/0001-03	RIO BONITO SOLUÇÕES EM COPROCESSAMENTO LTDA	Balsa Nova/PR	
DESTINO FINAL DO RESÍDUO					
Tipo de Destino Final		CNPJ	Razão Social	Município / UF	
Coprocessoamento em fornos de cimento		76.630.573/0002-41	CIA DE CIMENTO ITAMBÉ	Balsa Nova/PR	
RESPONSÁVEL TÉCNICO					
Nome		Qualificação Profissional	Telefone	Celular	
LUCIANO FEDALTO		Engenheiro mecânico	(41)3121-0995	(41)98419-9439	